

## 東海第二発電所

# ブローアウトパネル閉止装置の加振試験結果(速報)

平成30年6月25日

日本原子力発電株式会社

## <試験期間>

平成30年6月18日(月)～平成30年6月22日(金)

## <加振試験等の実施場所>

国立研究開発法人 防災科学技術研究所 兵庫県耐震工学研究センター (E-ディフェンス)

## <結果の概要>

3次元加振台を用いた基準地震動 $S_s$ 及び振動台限界による加振試験を実施した結果は、以下のとおりである。

- ◆ 加振試験では、閉止装置設置位置より上部のEL+63.65mにおける床応答包絡条件を目標応答スペクトル(ターゲットスペクトル)として模擬地震波を作成し、入力条件として用いた結果、閉止装置設置位置の地震加速度を上回っており、閉止装置の機能を確認するための加振試験としては妥当であると評価した。
- ◆ 閉止装置の主要な構造部品(ガイドレール、テーパブロック、テーパローラ、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。
- ◆ 加振試験後において、閉止時に必要な押込み量の確保及びパッキンに損傷がなく、閉止装置の気密性能が設計目標を満足することを確認した。
- ◆ 加振試験において、閉止装置の電動用駆動チェーンに破損が確認されたが、手動開閉(ワイヤーにより扉を直接、牽引することによる開閉)は可能であることを確認した。⇒ 不具合1
- ◆ 扉閉止状態において加振試験中に、扉本体が開方向にスライドし、開口部ができることを確認した。⇒不具合2  
ただし、閉止装置を再度閉止することにより、気密性能が設計目標を満足することを確認した。

# 実機大試験結果のまとめ(扉初期状態:開)



- ◆ 扉開状態で加振した際の試験結果は以下のとおり
  - ・レベル3加振にて電動駆動用チェーンに破損が確認された。閉操作側のチェーンに破損はなく、電動にて閉操作可能であった。なお、手動開閉に問題はなかった。
  - ・レベル4加振の際には、前日(扉閉状態のレベル4)でのチェーン破損対策(廻り止め溶接)と同じ対策を実施したが、廻り止め溶接箇所隣接したチェーンの破損が確認された。なお、手動開閉に問題はなかった。

加振時扉状態	試験日	加振条件	閉止装置設置位置下端のZPA	加振後状況	電動開閉※1		手動開閉	気密性能	備考
					開→閉	閉→開			
開	6/19	レベル3 (1.0Ss) ※3	面外X: 1.49G 面内Y: 1.46G 鉛直Z: 1.55G	異常なし	電流値※2: 3.87~4.00A 時間: 約100秒	電流値※2: 3.95~4.05A 時間: 約98秒	開→閉 約7分30秒	0.25 m <sup>3</sup> /h・m <sup>2</sup>	
	6/20	レベル3 (1.0Ss) ※3	面外X: 1.51G 面内Y: 1.56G 鉛直Z: 1.64G	・電動駆動用チェーン破損確認。電動にて閉操作可能であったため電動にて閉止し気密性能試験実施	電流値: 4.02A 時間: 約99秒 (チェーン取替後)	電流値: 4.02A 時間: 約97秒 (チェーン取替後)	開→閉 約4分30秒 閉→開 約2分30秒	0.26 m <sup>3</sup> /h・m <sup>2</sup>	・チェーン破損確認のため手動開閉実施
	6/22	レベル4 (1.1Ss) ※3	面外X: 1.56G 面内Y: 1.57G 鉛直Z: 1.72G	・前日の試験結果を反映し、一部チェーン取付部に廻り止め溶接を実施したが、廻り止め溶接未実施部が破損。電動にて閉操作可能であったため電動にて閉止し気密性能試験実施	電流値: 3.69A 時間: 約99秒 (チェーン取替後)	電流値: 3.74A 時間: 約97秒 (チェーン取替後)	開→閉 約2分31秒 閉→開 約3分03秒	0.27 m <sup>3</sup> /h・m <sup>2</sup>	・チェーン破損後、電動にて開→閉を確認。電流値4.70A 開閉時間約297秒(低速モードにて走行)

※1: 電流値は作動開始1分後のクランプメータの読み値。開閉時間は1秒単位に切り上げ。設計目標値は120秒以下。

※2: 5回測定し、最小値と最大値を記載。定格電流値は7.48A

※3: 加振試験では、閉止装置設置位置より上部のEL+63.65mにおける床応答包絡条件を目標応答スペクトルとして模擬地震波を作成し入力条件として用いたが、実際の加振波のスペクトルが一部周期帯で下回っていることを確認。しかしながら、閉止装置取付位置の地震加速度は上回っており、閉止装置の機能を確認するための加振試験としては妥当と評価

# 実機大試験結果のまとめ(扉初期状態:閉)



## ◆ 扉開状態で加振した際の試験結果は以下のとおり

- ・レベル3加振にて電動駆動用チェーンに破損が確認された。また、この際、閉止状態の扉が約300mm移動し、扉端部に約50mmの開放が発生した。
- ・レベル4加振の際には、レベル3でのチェーン破損部位を補強(廻り止め溶接)したため、チェーンに破損は生じず、電動開閉及び手動開閉は可能であった。なお、チェーンの伸び(全長約5584mmに約38mmの伸び発生)が確認された。

加振時扉状態	試験日	加振条件	閉止装置設置位置下端のZPA	加振後状況	電動開閉※1		手動開閉	気密性能	備考
					開⇒閉	閉⇒開			
閉	6/21	レベル3 (1.0Ss) ※3	面外X: 1.42G 面内Y: 1.60G 鉛直Z: 1.60G	・電動駆動用チェーン破損確認。また、扉は完全閉状態から開方向に約300mmスライドし、約50mmの開放を確認したため、手動にて閉止し気密性能試験実施	電流値※2: 3.64~3.86A 時間: 約99秒 (チェーン取替後)	電流値※2: 3.75~3.90A 時間: 約97秒 (チェーン取替後)	—※4	0.26 m <sup>3</sup> /h・m <sup>2</sup>	チェーン破損後、電動にて閉⇒開を確認。電流値4.29A開閉時間約246秒(低速モードにて走行)
		レベル4 (1.1Ss) ※3	面外X: 1.43G 面内Y: 1.58G 鉛直Z: 1.62G	・レベル3の試験結果を反映し、チェーン取付部近傍に廻り止め溶接を実施した結果、チェーン破損は発生しなかったが、扉は完全閉状態から開方向に約85mmスライドしたため電動にて閉止し気密性能試験を実施	電流値: 4.10A 時間: 約99秒	電流値: 4.23A 時間: 約98秒	開⇒閉 約2分31秒 閉⇒開 約3分03秒	0.27 m <sup>3</sup> /h・m <sup>2</sup>	チェーンは破損しなかったが、全長約5584mmのチェーンが約38mm伸びていることを確認

※1: 電流値は作動開始1分後のクランプメータの読み値。開閉時間は1秒単位に切り上げ。設計目標値は120秒以下。

※2: 5回測定し、最小値と最大値を記載。定格電流値は7.48A

※3: 加振試験では、閉止装置設置位置より上部のEL+63.65mにおける床応答包絡条件を目標応答スペクトルとして模擬地震波を作成し入力条件として用いたが、実際の加振波のスペクトルが一部周期帯で下回っていることを確認。しかしながら、閉止装置取付位置の地震加速度は上回っており、閉止装置の機能を確認するための加振試験としては妥当と評価

※4: 電動開閉において、過去の開閉と電流値に有意な差はなかったため、試験要領書に従い手動開閉は省略

# 閉止装置の固有振動数について

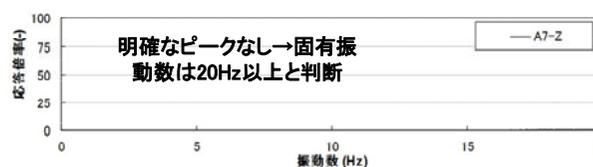
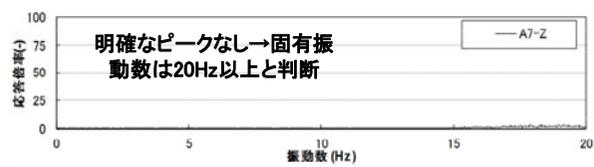
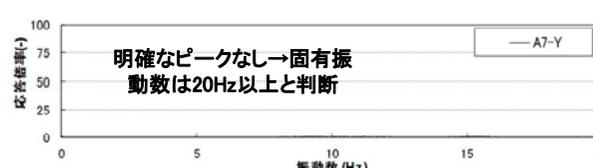
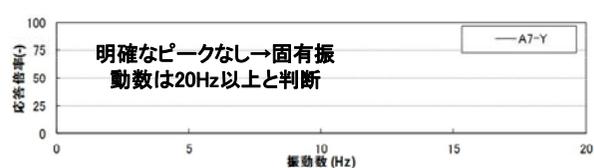
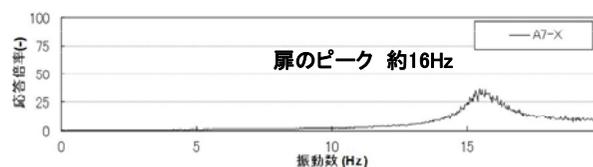
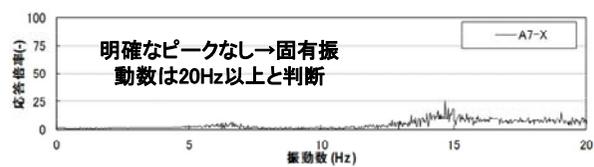
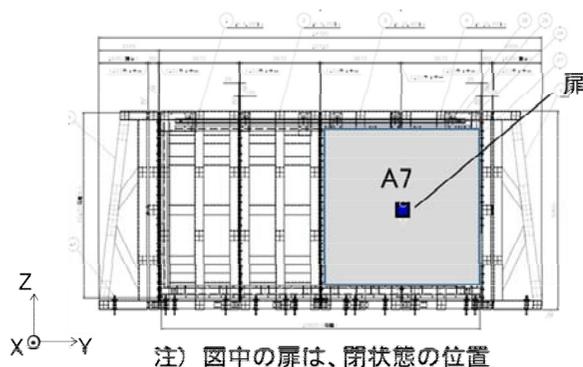


## <閉止装置の固有振動数測定>

- ◆ ブローアウトパネル閉止装置の固有振動数を確認するため、扉が開状態と閉状態時に、各方向(X,Y,Z方向)単独で、0.1Hz~30Hz程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波(加振レベル2.0m/s<sup>2</sup>程度)で加振し、閉止装置の固有振動数を確認する。

## <測定結果>

- ◆ 扉開状態では、X方向、Y方向、Z方向ともに明確な振動数ピークは確認されず、扉の固有震度数数は20Hz以上と評価した。
- ◆ 扉閉状態では、X方向(面外方向)にのみピークが確認され、閉状態面外方向の固有振動数は約16Hzと評価した。



扉状態 (加振時)	試験日	固有振動数
開	6/18	・面外方向:20Hz以上 ・面内方向:20Hz以上 ・鉛直方向:20Hz以上
閉		・面外方向:約16Hz ・面内方向:20Hz以上 ・鉛直方向:20Hz以上

面外方向(X方向)のランダム波に対する扉の応答 (扉:開)

面外方向(X方向)のランダム波に対する扉の応答 (扉:閉)

# 気密性能について



- ◆ 扉開放時に基準地震動Ssが発生した場合、扉閉止後には、十分な気密性能が確保できることを確認した。また、扉閉状態で基準地震動Ssが発生した場合でも、扉閉止後には、十分な気密性能が確保できることを確認した。
- ◆ 今回の一連の加振試験後の最大漏えい量は $0.27\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ であり、この場合でも、原子炉建屋原子炉棟全体の漏えい量は、非常用ガス処理系の定格容量の50%程度であり、非常用ガス処理系にて63Pa以上の負圧が達成可能であることを確認した。

## ・判定基準:

設計基準と同様に非常用ガス処理系の定格流量 $3,570\text{m}^3/\text{h}$ 以下の風量で63Pa以上の負圧を確保できること

- ・既設建屋の推定漏えい量 : 約 $1,710\text{m}^3/\text{h}$  (63Pa時換算)

至近で漏えい量の最も多かった原子炉建屋気密性能試験結果から評価

- ・閉止装置10個の内のり面積の合計 : 約 $213\text{m}^2$

- ・閉止装置単体の漏えい率 :  $0.27\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$

(E-ディフェンスでの加振後の最大漏えい量(6/21及び6/22))

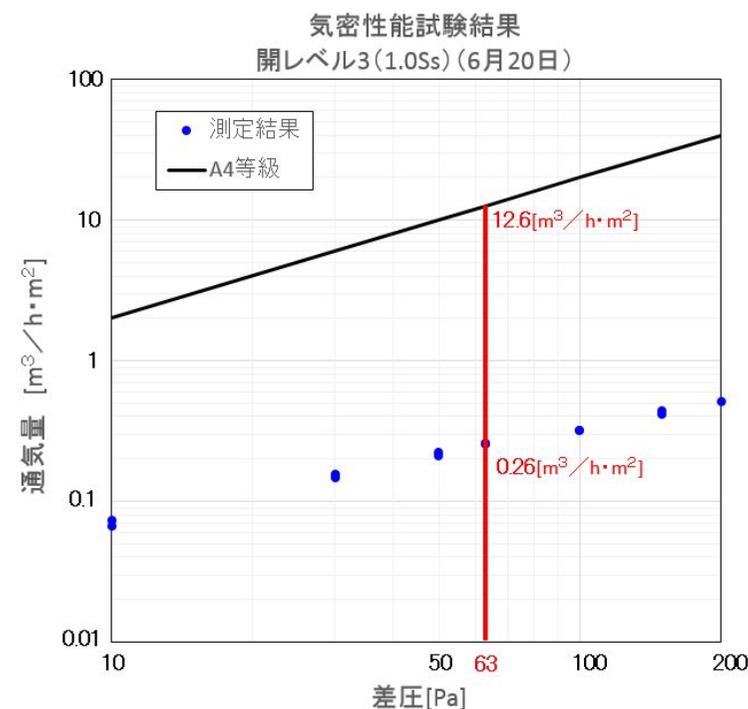
本閉止装置を設置した場合の63Pa時の推定漏えい量は、以下のとおりであり、非常用ガス処理系にて負圧が達成可能である。

$$1,710\text{m}^3/\text{h} + 0.27\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2 \times 213\text{m}^2 = 1,768\text{m}^3/\text{h} < 3,570\text{m}^3/\text{h}$$

E-ディフェンスでの加振試験後の気密性能試験結果

加振時扉状態	試験日	加振条件	気密性能( $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ )
開	6/19	レベル3(1.0Ss)	0.25
	6/20	レベル3(1.0Ss)	0.26
	6/22	レベル4(1.1Ss)	0.27
閉	6/21	レベル3(1.0Ss)	0.26
		レベル4(1.1Ss)	0.27

E-ディフェンスでの組立・調整後(加振前)の気密性能は、 $0.25\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$

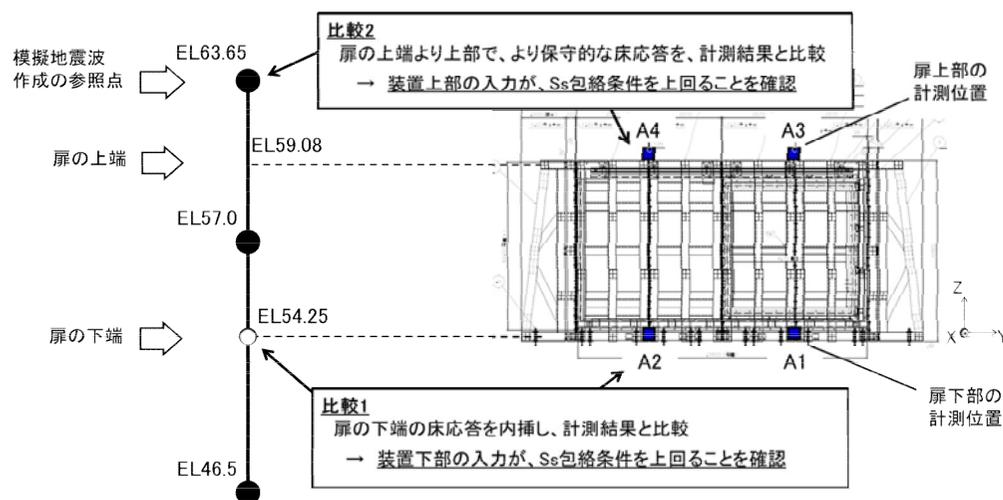


閉止装置の気密確認試験結果

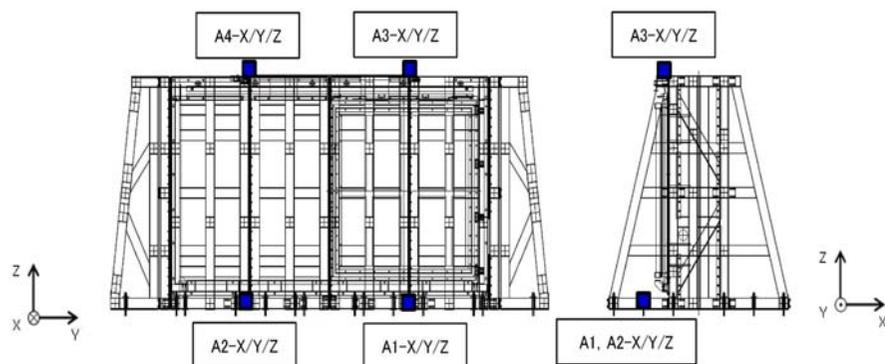
# 加振試験の妥当性について



- ◆ 加振試験では、閉止装置設置位置より上部のEL. +63.65mにおける床応答包絡条件を目標応答スペクトルとして模擬地震波を作成し入力条件として用いたが、実際の加振波のスペクトルが一部周期帯で下回っていることを確認した。
- ◆ しかしながら、閉止装置取付位置の地震加速度は上回っており、閉止装置の機能を確認するための加振試験としては妥当である。



装置の設置高さとの計測位置の関係



振動台及び支持架台の加速度計設置位置

実際の閉止装置と原子炉建屋原子炉棟串団子モデルの位置関係は図-1のとおり。また、加振条件の妥当性の判断条件は以下のとおり。

- 比較1: 閉止装置下端位置の計測結果が、 $S_s$ 条件での扉下端部の床応答を上回ること。
- 比較2: 閉止装置上端位置の計測結果が、より保守的なEL. +63.65mの $S_s$ 条件での床応答を上回ること。



震度(ZPA)及び床応答スペクトル(閉止装置や架台の固有周期範囲である0.1s以下)が以下の関係となり、閉止装置設置位置における $S_s$ 条件の床応答スペクトルを上回るレベルで加振されていることを確認

- 比較1: 閉止装置下端EL. +54.25 m の床応答  
 < 計測データ(扉下部のA1及びA2)
- 比較2: 閉止装置上端より上部のEL. +63.65 m の床応答  
 < 計測データ(扉上部のA3,A4)

# 加振試験の妥当性について(扉開状態)



- ◆ 閉止装置の上部の最大加速度は、EL. +63.65mでの設計加速度を超えており、十分な加振がされていることを確認(比較2参照)
- ◆ 閉止装置の下部の最大加速度は、EL. +54.30mで想定される設計加速度を超えており、十分な加振がされていることを確認(比較1参照)

比較2:扉上部での比較

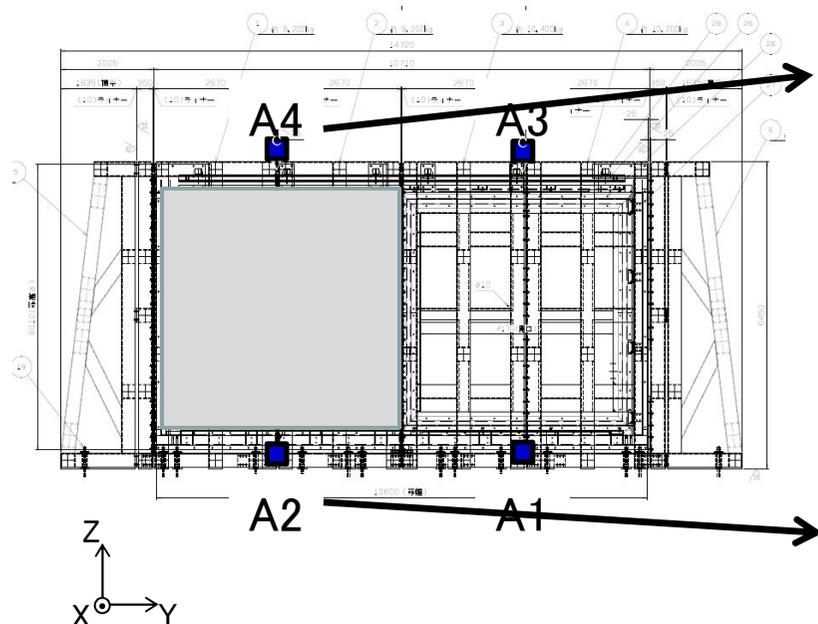
方向	Ss包絡条件 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	計測結果 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	判定結果 <sup>注)</sup>
		A4	
X	1.66 <	4.09	○
Y		2.43	○
Z	1.21 <	2.02	○

注) 計測結果が、Ss包絡条件を上回ることを確認

比較1:扉下部での比較

方向	Ss包絡条件 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	計測結果 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	判定結果 <sup>注)</sup>
		A2	
X	1.34 <	1.51	○
Y		1.56	○
Z	1.09 <	1.64	○

注) 計測結果が、Ss包絡条件を上回ることを確認

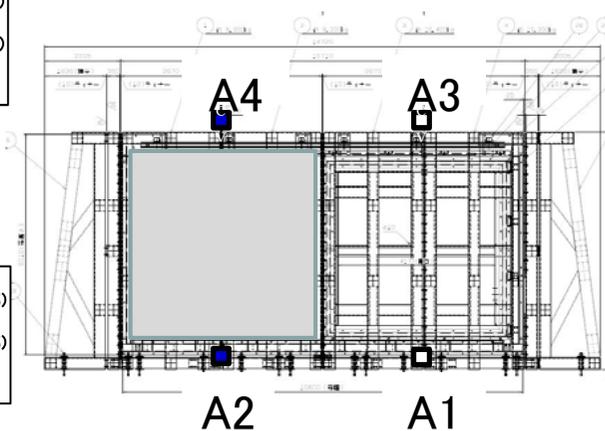
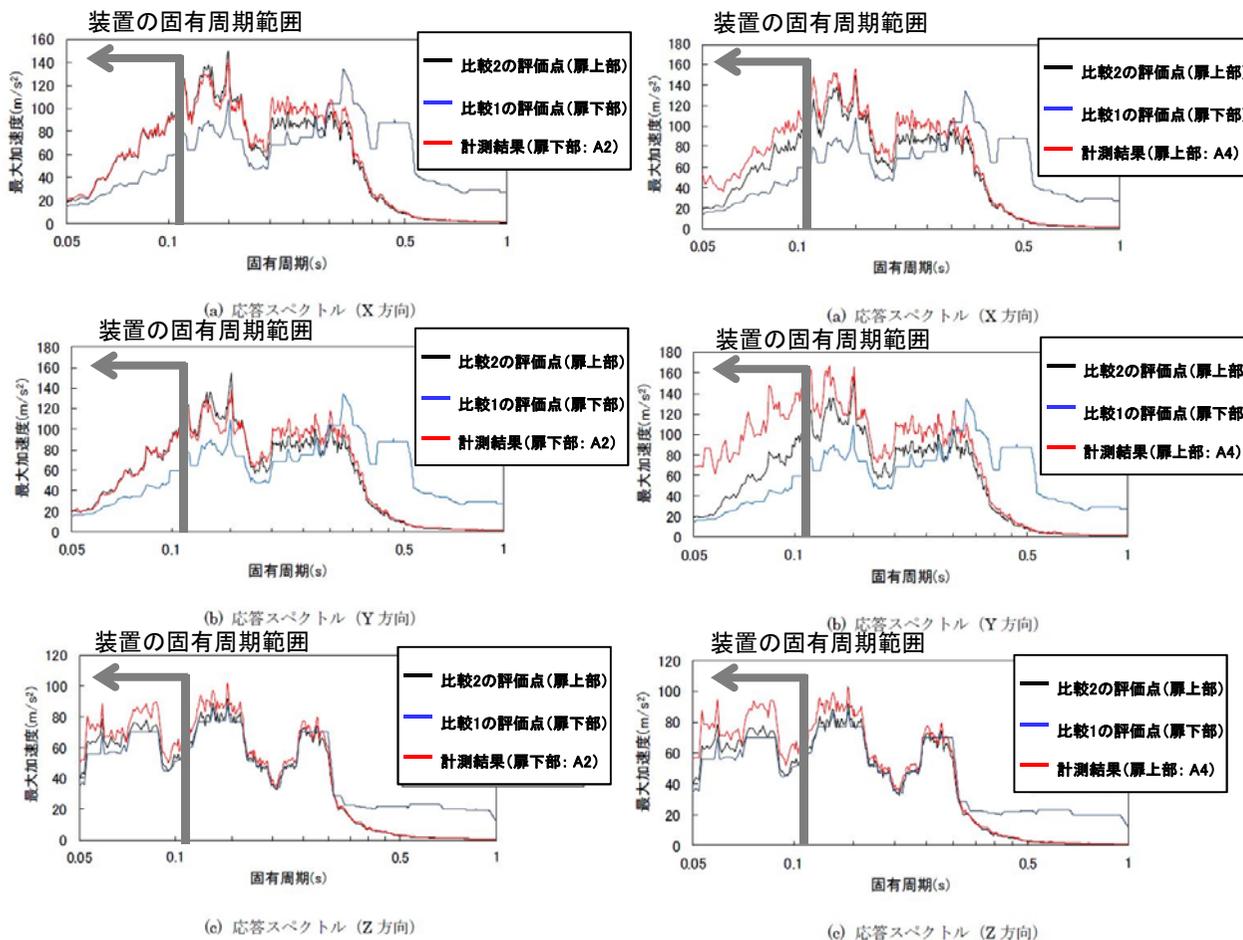


扉開時の最大加速度の比較(6月20日レベル3加振時)  
(最大加振レベルの試験結果とSs包絡条件を比較)

# 加振試験の妥当性について(扉開状態)



- ◆ 閉止装置の固有周期範囲において, 閉止装置下部の応答スペクトル(赤線)は, 扉下端(EL. +54.25m)の設計応答スペクトル(青線)を超えており, 十分な加振がされていることを確認(扉の下部の応答スペクトル比較参照)
- ◆ 同様に, 閉止装置の上部の応答スペクトル(赤線)は, 扉上部の質点(EL. +63.65m)の設計応答スペクトル(黒線)を超えており, 十分な加振がされていることを確認(扉の上部の応答スペクトル比較参照)



扉の下部(計測位置:A2)

扉の上部(計測位置:A4)

## 応答スペクトルによる判定結果

方向	比較1の判定結果 <sup>注1</sup>	比較2の判定結果 <sup>注2</sup>
X	○	○
Y	○	○
Z	○	○

注1)計測結果が比較1条件を上回ることを確認  
注2)計測結果が比較2条件を上回ることを確認

扉開時の応答スペクトルの比較  
(最大加振レベルの試験結果とSs包絡条件を比較)

## 加振試験の妥当性について(扉閉状態)



- ◆ 閉止装置の上部の最大加速度は、EL. +63.65mでの設計加速度を超えており、十分な加振がされていることを確認(比較2参照)
- ◆ 閉止装置の下部の最大加速度は、EL. +54.30mで想定される設計加速度を超えており、十分な加振がされていることを確認(比較1参照)

比較2:扉上部での比較

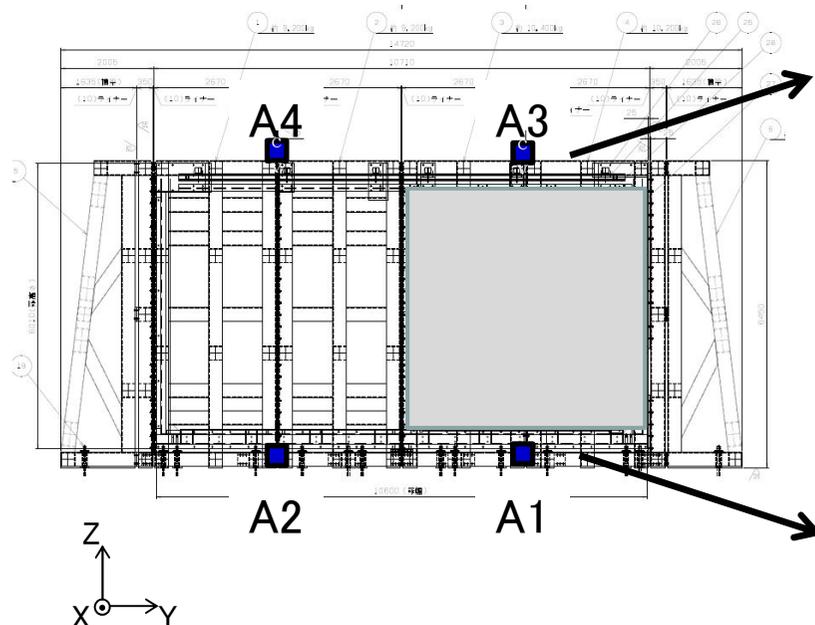
方向	S <sub>s</sub> 包絡条件 (×9.8m/s <sup>2</sup> )	計測結果(×9.8m/s <sup>2</sup> )	判定結果 <sup>注)</sup>
		A3	
X	1.66 <	2.65	○
Y		2.01	○
Z	1.21 <	1.94	○

注) 計測結果が、S<sub>s</sub>包絡条件を上回ることを確認

比較1:扉下部での比較

方向	S <sub>s</sub> 包絡条件 (×9.8m/s <sup>2</sup> )	計測結果(×9.8m/s <sup>2</sup> )	判定結果 <sup>注)</sup>
		A1	
X	1.34 <	1.42	○
Y		1.60	○
Z	1.09 <	1.60	○

注) 計測結果が、S<sub>s</sub>包絡条件を上回ることを確認

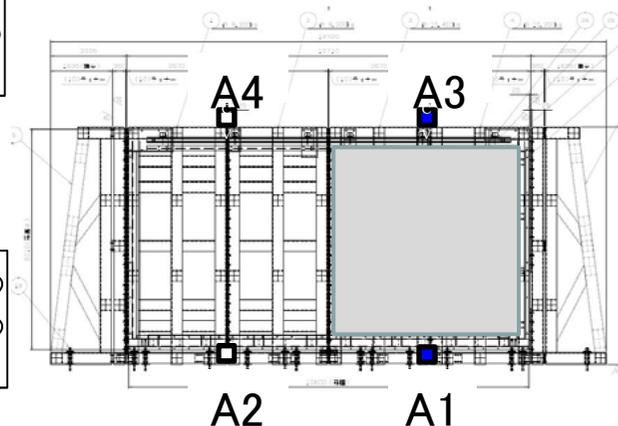
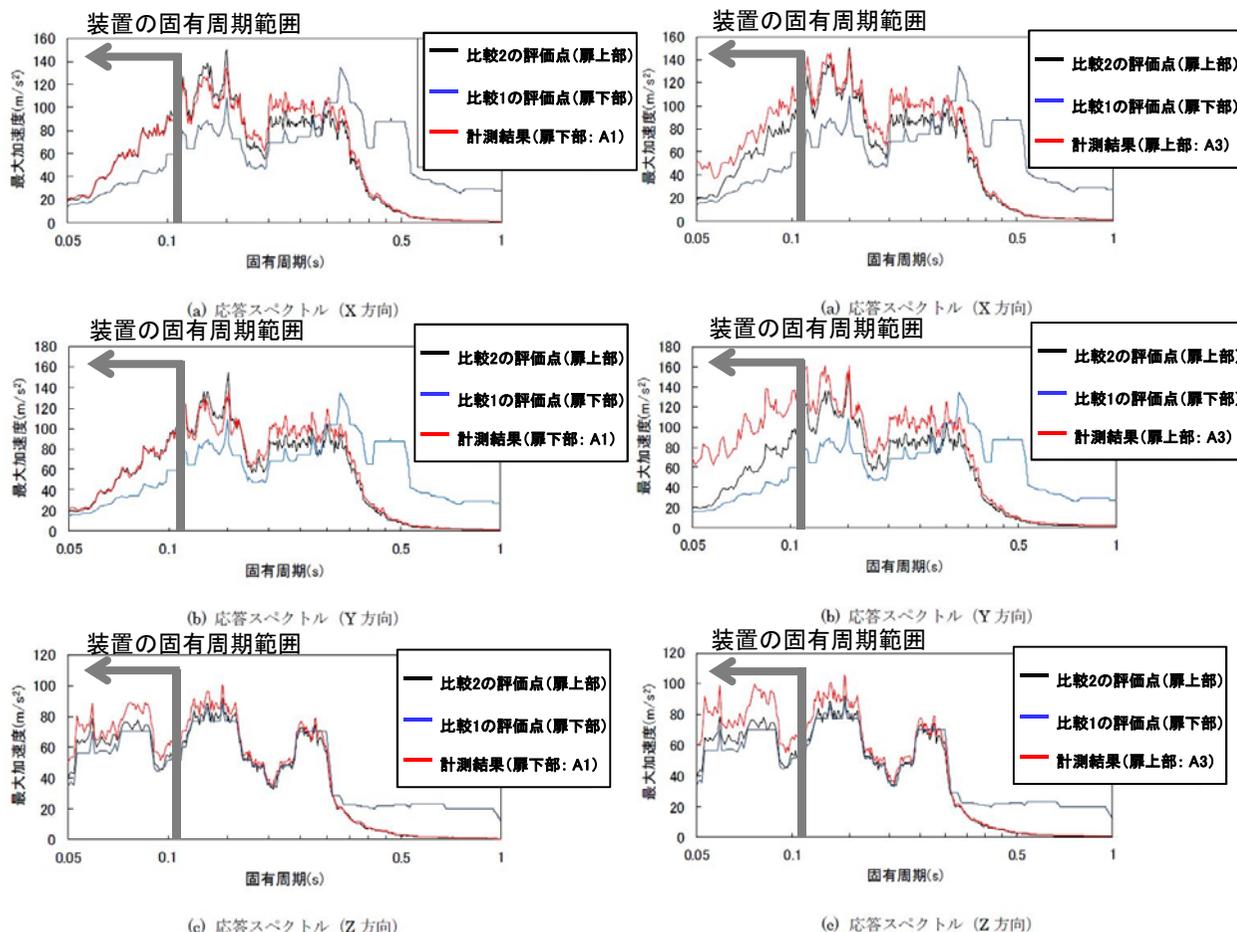


扉閉時の最大加速度の比較(6月21日レベル3加振時)  
(最大加振レベルの試験結果とS<sub>s</sub>包絡条件を比較)

# 加振試験の妥当性について(扉閉状態)



- ◆ 閉止装置の固有周期範囲において、閉止装置下部の応答スペクトル(赤線)は、扉下端(EL54.25m)の設計応答スペクトル(青線)を超えており、十分な加振がされていることを確認(扉の下部の応答スペクトル比較参照)
- ◆ 同様に、閉止装置の上部の応答スペクトル(赤線)は、扉上部の質点(EL63.65m)の設計応答スペクトル(黒線)を超えており、十分な加振がされていることを確認(扉の上部の応答スペクトル比較参照)



扉の下部(計測位置:A1)

扉の上部(計測位置:A3)

## 応答スペクトルによる判定結果

方向	比較1の判定結果注1	比較2の判定結果注2
X	○	○
Y	○	○
Z	○	○

注1)装置の固有周期範囲で、計測結果が比較1を上回ることを確認

注2)装置の固有周期範囲で、計測結果が比較2を上回ることを確認

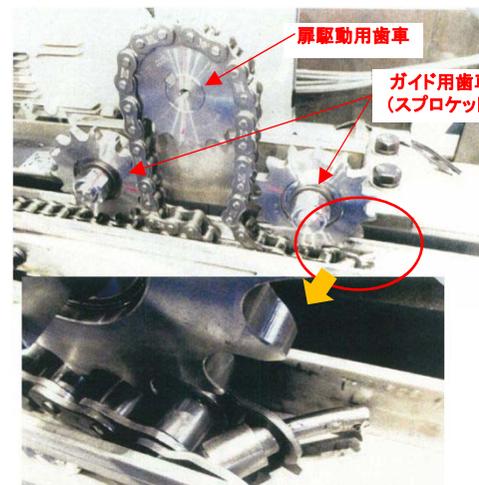
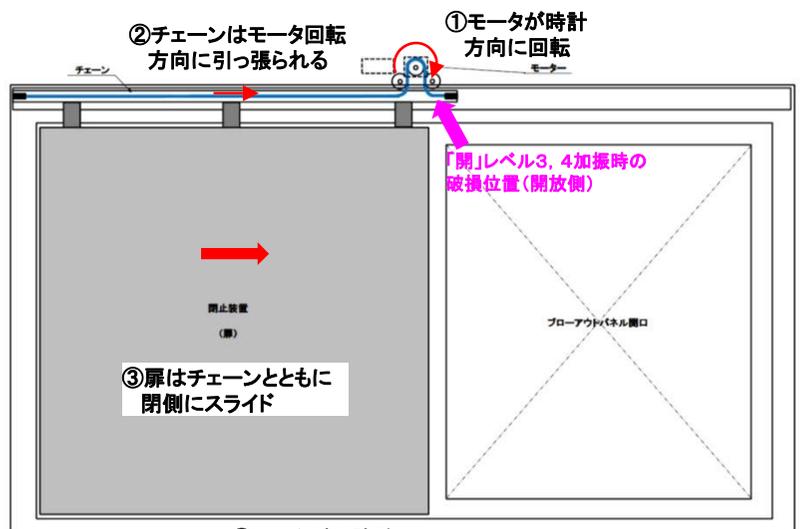
扉閉時の応答スペクトルの比較  
(最大加振レベルの試験結果とS<sub>s</sub>包絡条件を比較)

# 確認された不具合(チェーン破損)の原因と対策について



## <不具合1>

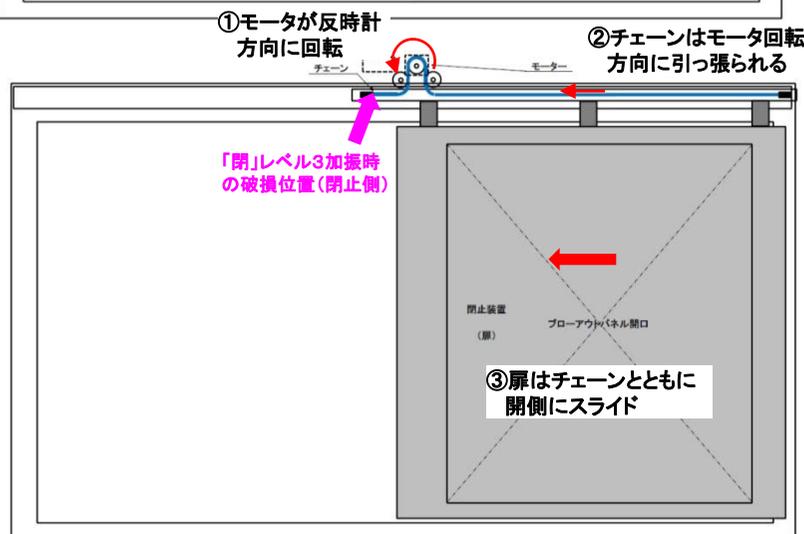
電動駆動用チェーンの一部が破損する不具合を確認。破損箇所は、扉全開又は全閉時にガイド用歯車(スプロケット)とのチェーン端部までの距離が短い側(扉開状態では開放側が破損、扉閉状態では閉止側が破損)であった。



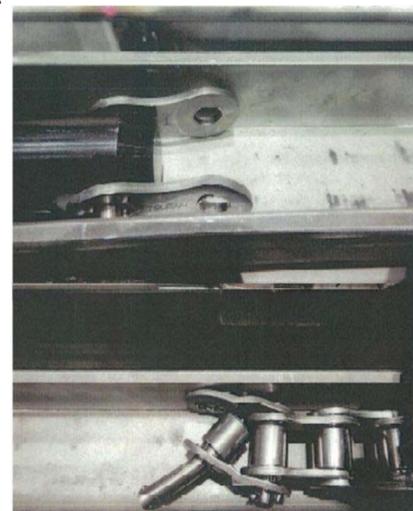
扉開状態レベル3加振後のチェーンの状態(6月20日)



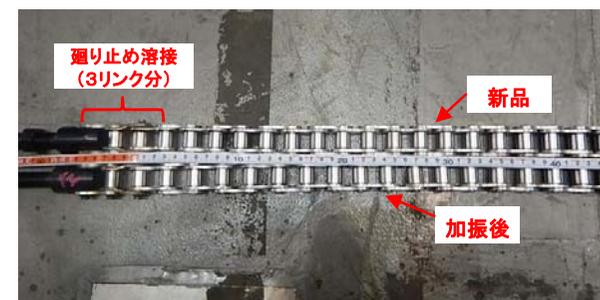
扉開状態 レベル4加振後のチェーンの状態(6月22日)  
(端部近傍の3つのピンについて廻り止め溶接を実施した結果、廻り止め溶接を実施していないチェーンに破損を確認)



## 扉開閉のメカニズム



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)

推定原因(メカニズム)

対策(案)

対策の妥当性確認方法(案)

・加振時に過大な荷重が駆動系(チェーン)に付加



・チェーンが短い側(遊びが少ない側)の脆弱部(延長部のある端部)のチェーンプレート軸穴が変形



扉閉状態レベル3加振後のチェーンの状態  
(6月21日)



・軸穴からピンが外れチェーン切断

<対策案1>

・チェーンをより強度の高い材質, 構造(大型化)に変更

・今回取得された試験データ(扉上部スライド方向の加速度)からチェーンに付加された最大荷重を算出  
・当該荷重でもチェーンに破損や有意な変形, 伸びが発生しないことを要素試験にて確認

<対策案2>

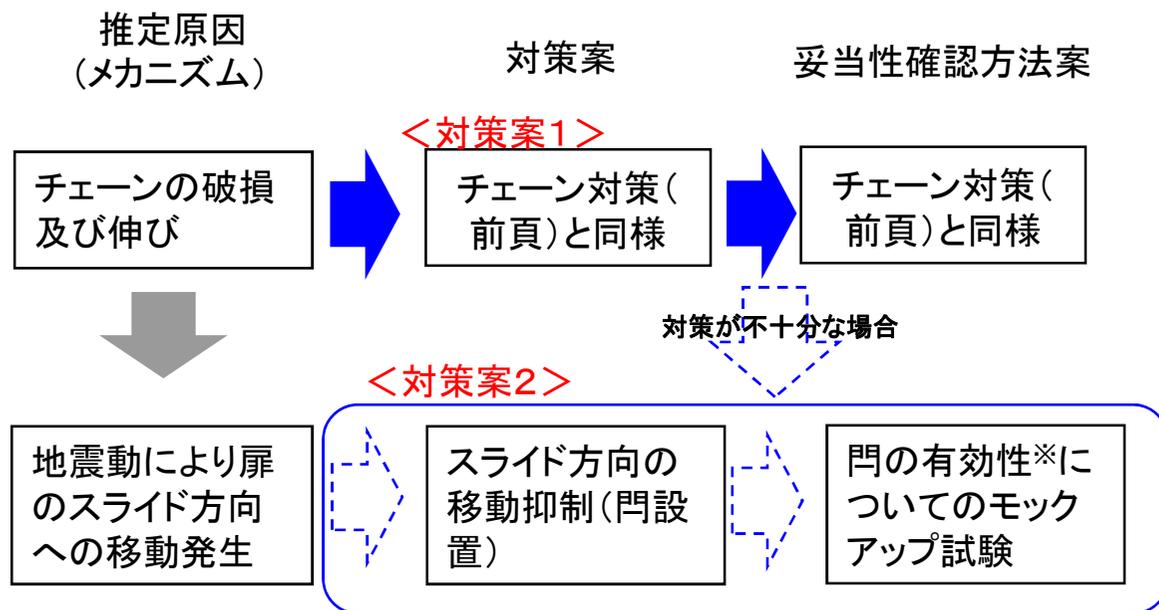
扉のスライド方向に門を設置し, 地震時の荷重を門が受けることで扉のスライドを拘束し, チェーンに過大な荷重が発生しないようにすることについて検討

# 確認された不具合(扉の開放へのスライド)の原因と対策について



## <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、閉止状態が維持できない状態を確認。なお、手動による再閉止可能であることを確認。



※: 門により扉がスライド方向に有意に移動しないこと。門が遠隔で設置、取り外しできること。

## <対策案3>

閉止装置の開閉状態は感知できる設計とするため、地震等により開放した場合は、速やかに再閉止することを保安規定に明記し対応

