

福島第一原子力発電所第3号機 遠隔操作式大型クレーン先端ジブマストの傾倒について (追加説明資料)

本件については、平成25年9月24日(火)労働基準監督署へご説明を行い原因と再発防止対策についてご了承頂いた。

なお、もう一台の遠隔操作式大型600tonクレーンについても9月24日(火)から使用することにご了承頂いた

前回ご説明した要因について、検証を行った結果をご報告する

平成25年10月31日
東京電力株式会社



東京電力

1. 発生事象概要

□発生事象

平成25年9月5日、3号機原子炉建屋付近の遠隔操作式大型クレーンの先端ジブマストが、徐々に伏せていく事象が発生した。

現場確認の結果、当該クレーンのフックが使用済燃料プール循環冷却設備配管の養生足場上に着床していることが判明した。

当該クレーンが重要設備へ与える影響を考慮し、9月5日、吊りフック及び先端ジブマストを重要設備から離れた位置へ移動させる安全措置作業を実施した。

その後、当該クレーンをより安定した状態とするため、9月10日、先端ジブマスト・主マストの地上への伏せ作業を実施した。

□時系列

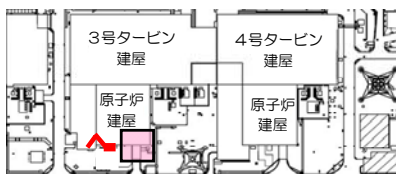
平成25年9月5日

- 8:35頃 先端ジブマストが徐々に伏せていくことを確認
- 9:15頃 協力会社にクレーン状況を確認するよう指示
- 11:43頃 主マスト上部の付根に亀裂らしきものを確認
- 20:20頃 安全措置作業開始
- 23:55頃 安全措置作業完了

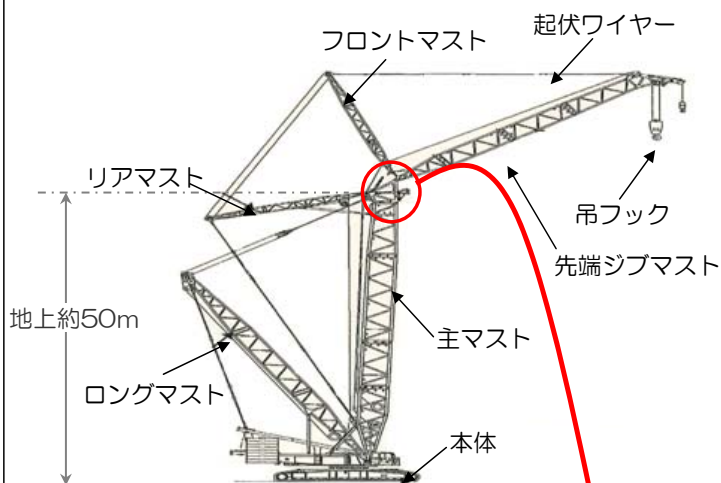
平成25年9月10日

- 11:35頃 準備作業開始
- 14:22頃 地上への伏せ作業開始
- 15:43頃 地上への伏せ作業完了

□発生場所



□遠隔操作式大型クレーンの概要



平成25年9月5日撮影

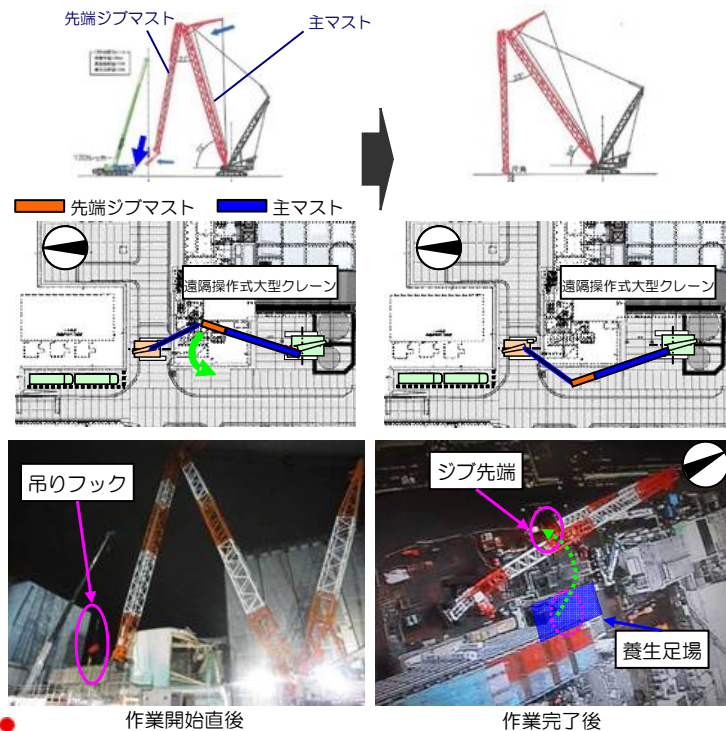


東京電力

2. 安全措置対策の概要

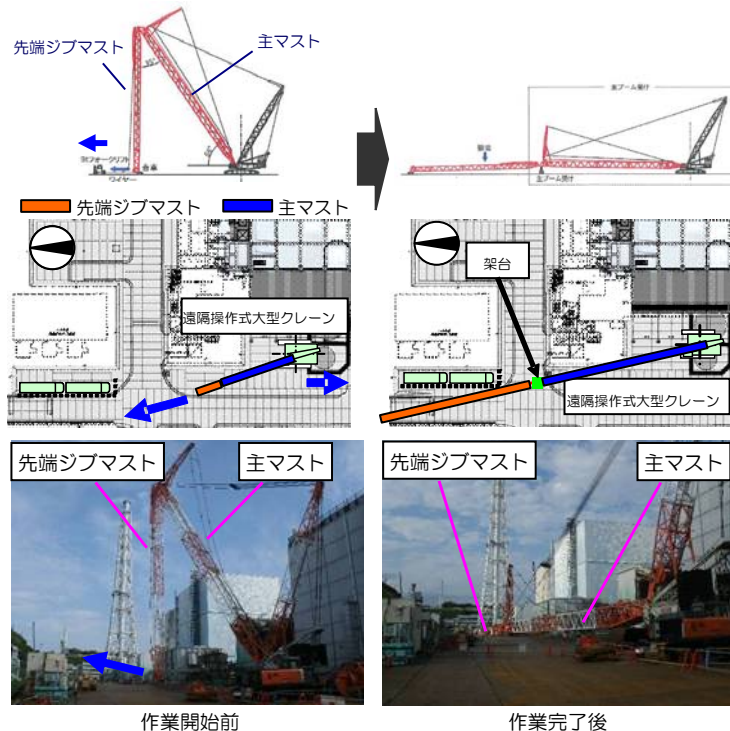
□安全措置 その1 (9月5日)

9月5日の社内トラブル検討会で検討した安全措置計画(緊急)に基づき、当該クレーンのフックを120tラフタークレーンにより吊り、先端ジブマストを旋回させながら循環冷却設備などから離れた廃棄物処理建屋西側へ移動、地上に安定した状態で着床させた。



□安全措置 その2 (9月10日)

9月9日の社内トラブル検討会で検討した安全措置計画に基づき、当該クレーンの先端ジブマスト、及び主マストをより安定した状態とするために、フォークリフト及び120tラフタークレーンにより地上へ伏せた状態とした。



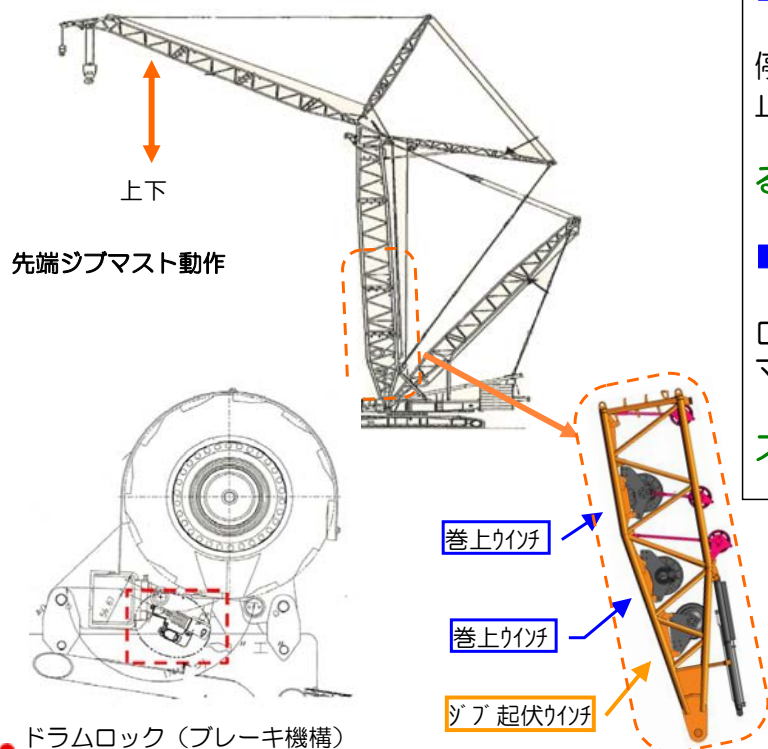
無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

2

3-1. 当該クレーンの機構について

当該クレーンはウインチをブームの中に組み込み機器のコンパクト化をしているため、通常のクレーンとは機構が異なる。

■当該クレーン (600tクレーン: 6000SLX) 概要



ドラムロック (ブレーキ機構)

■クレーン稼働時

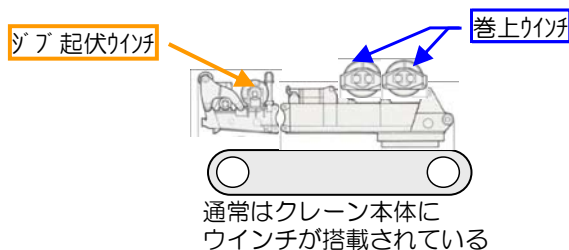
ウインチを回転させワイヤーを巻取り、巻出し、停止することで先端ジブマストは上下に動作、停止する。

作業時は、ウインチの回転は油圧制御されているので先端ジブマストは勝手に下がることはない。

■クレーン停止時

ドラムロックによりウインチの回転を機械的にロックさせることでワイヤーが固定し、先端ジブマストを静止させる構造となっている。

休止時は、ブレーキ機構が作動し、先端ジブマストは下がらず、状態を保持できる。



無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

3

3-2. 本事象を引き起こした直接的原因

ジブ起伏ウインチのドラムロック※が解除された状態となり、その結果起伏ワイヤーに緩みが生じ、先端ジブマストが徐々に伏せていき、主マストへ想定外の荷重がかかり亀裂が発生した。

【ドラムロックが解除した原因】

ドラムロック※の油圧ホースに使用している組立分解用ねじ式継手が緩み、油圧が下がらずドラムロックが解除した。

通常、当該クレーン稼働中は油圧が上がりドラムロックが解除され、停止中は油圧が下がりドラムロックがかかる仕組みになっている。

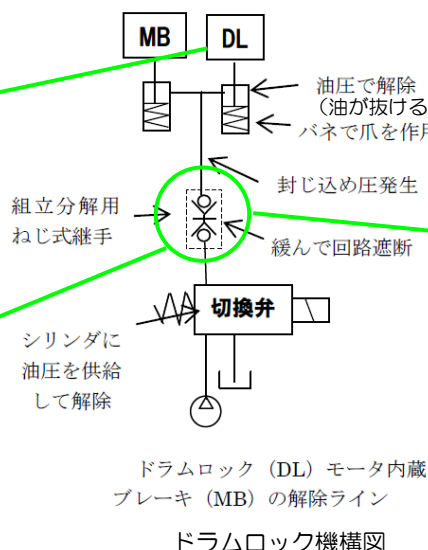
※機械式ブレーキ



ドラムロック

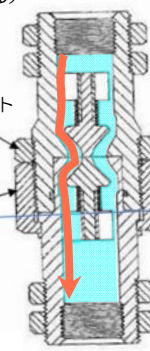


組立分解用ねじ式継手



【ドラムロック作動】

油が戻る

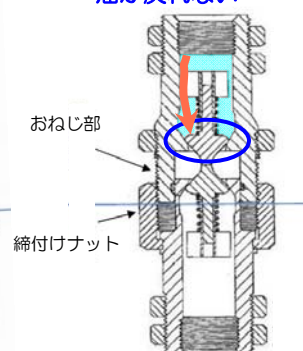


【正常時】

組立分解用ねじ式継手断面図

【ドラムロック解除】

ねじの緩みで閉塞し油が戻れない



【今回の事象】



約3.5cm



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

4

3-2. 本事象を引き起こした直接的原因（補足）

ドラムロックが解除しても直ちに先端ジブマストが傾倒しなかったことについて

当該クレーンは、稼働停止後も約2.5日は、ウインチ稼働中の油圧制御が保持されるため、ジブマストの姿勢は保持される。（メーカー確認）

ドラムロックの機構について

ドラムロックが有効に効いている状態で、当該クレーンを停止させた場合は、組立分解用ねじ式継手が万が一緩んだとしてもドラムロックへの油圧が上がるような仕組みはなく、ドラムロックは解除されない。（メーカー確認）



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

5

3-3. 直接的原因を引き起こした背後要因

背後要因（想定）		確認結果	
人的要因	①年次点検時にテストハンマーによる打診検査で誤ってナットの緩みを発生	当時の点検状況（いつも行っている点検であり打診方向間違い(緩む方向)を起こす可能性がないこと）を、協力会社並びにメーカーへ当社の直接ヒアリングで確認	○
	② 第三者が故意的にナットを緩めた	—	△
	③年次点検以降に、関係者（協力会社、メーカー）が何らかの作業を行い、誤ってナットの緩みが発生	該当作業が無かったことを、協力会社並びにメーカーへ当社の直接ヒアリングで確認	○
物理的要因	④ 継手部の製品の不良	他の継手部の緩みはなし（当該継手部のみ緩み）メーカーからのヒアリングで、継手部は通常緩まない機構であることを確認	△
	⑤ブレーキ機構に使用されている組立分解用ねじ式継手（特許）の機構的不良	約20年間の利用実績で一度も問題を生じていない	○
施工的要因	⑥ 天井クレーンガーター穴空け作業では通常利用時より振動が大きく、ナットの緩みが発生	これまでも、同様の特殊作業を実施しているが顕著なナットの緩みが発生した事例はない。しかしH24年度の年次点検でナットを増し締めした経緯はある	△
絞り込んだ要因		凡例 ○可能性なし △可能性あり	
(1) 当該組立分解用ねじ式継手の個体的製品不良の可能性 (2) クレーン通常利用時より振動が大きく、ナット緩み等の部材損傷の可能性 (3) 第三者による当該部への故意的接触の可能性			

3-4. 背後要因の追求

当該クレーンは、6月末の年次点検にて当該組立分解用ねじ式継手に緩みがないことを確認している。それ以降3週間程度の作業で事象が起きた。

平成23年7月の製造より約2年間使用しているなかで、今回初めて緩みが生じたということから、絞り込んだ要因(1)、(2)各々単独で発生したとは考え難い。

【追求根拠】

□要因(1) 当該組立分解用ねじ式継手の個体的製品不良の可能性

メーカーからのヒアリングより、当該箇所の継手部は通常緩みにくい箇所であり、製品的な不良だけでねじ式継手の緩みが発生することは考えにくい

□要因(2) クレーン通常利用時より振動が大きく、ナット緩み等の部材損傷の可能性

6月末の年次点検以降に実施した天井クレーンガーター穴明け作業は、ジブの上下稼働により振動発生頻度が増える作業であったが、これまでも同様の作業は実施している。また、振動を受けた他のねじ式継手に緩みは生じておらず、1箇所のみ急に緩みが生じたことからこの作業だけで本事象が発生したとは考え難い。

- ・ 緩みが生じたねじ式継手 ： 1箇所のみ／65箇所×2基
- ・ 揚重作業に関わるねじ式継手： 32箇所／基 （機械式ブレーキに関わるねじ式継手： 4箇所／基）

なお、750tクレーン（4号機）にねじ式継手は使用していないため、このような事象が起きることはない（約34年間不具合なし）

4. 再発防止対策

- 対策(1)：ブレーキ機構に使われている、当該ねじ式継手を新品に取替える。【要因(1)】
- 対策(2)：月次・日常点検において作業前後にナット緩みとドラムロックの作動確認を追加する。【要因(1)(2)(3)】
- 対策(3)：リモート室からロック状態が確認できるように、表示灯を設置する。【要因(1)(2)(3)】
- なお、点検項目は、当社監理員が実施された点検内容について立ち会いもしくは記録で確認する。

【点検の具体的改善内容】

点検頻度	関係部位	【該当クレーン】 600tクレーン(3号機)	【類似の燃料取り出しに関わるクレーン】 750tクレーン(4号機)
年次点検	継手部位	・目視確認(油漏れ、損傷、変形)	・目視確認(油漏れ、損傷、変形)
	油圧配管	・目視確認(油漏れ、損傷、変形)	・目視確認(油漏れ、損傷、変形)
	ナット緩み	・テストハンマーによる打診検査	・使用していないため対象外
	ドラムロック	・作動確認(ロック状態) ・目視確認(部材の摩耗・損傷)	・作動確認(ロック状態) ・目視確認(部材の摩耗・損傷)
月次点検	継手部位	・年次点検と同等	・年次点検と同等
	油圧配管	・年次点検と同等	・年次点検と同等
	ナット緩み	(変更点) ・テストハンマーによる打診検査を追加	・使用していないため対象外
	ドラムロック	(変更点) ・目視確認(部材の摩耗・損傷)を追加	・年次点検と同等
日常点検	継手部位	(変更点) ・部位単体の目視確認(油漏れ、損傷、変形)を追加	・年次点検と同等
	油圧配管	(変更点) ・部位単体の目視確認(油漏れ、損傷、変形)を追加	・年次点検と同等
	ナット緩み	(変更点) ・油漏れ確認からナットの緩みを確認	・使用していないため対象外
	ドラムロック部位	(変更点) ・作業前、作業後の作動確認(ロック状態)の追加 ・リモート室からロック状態が確認出来るように、表示灯を設置	(変更点) ・作業後の作動確認(ロック状態)の追加



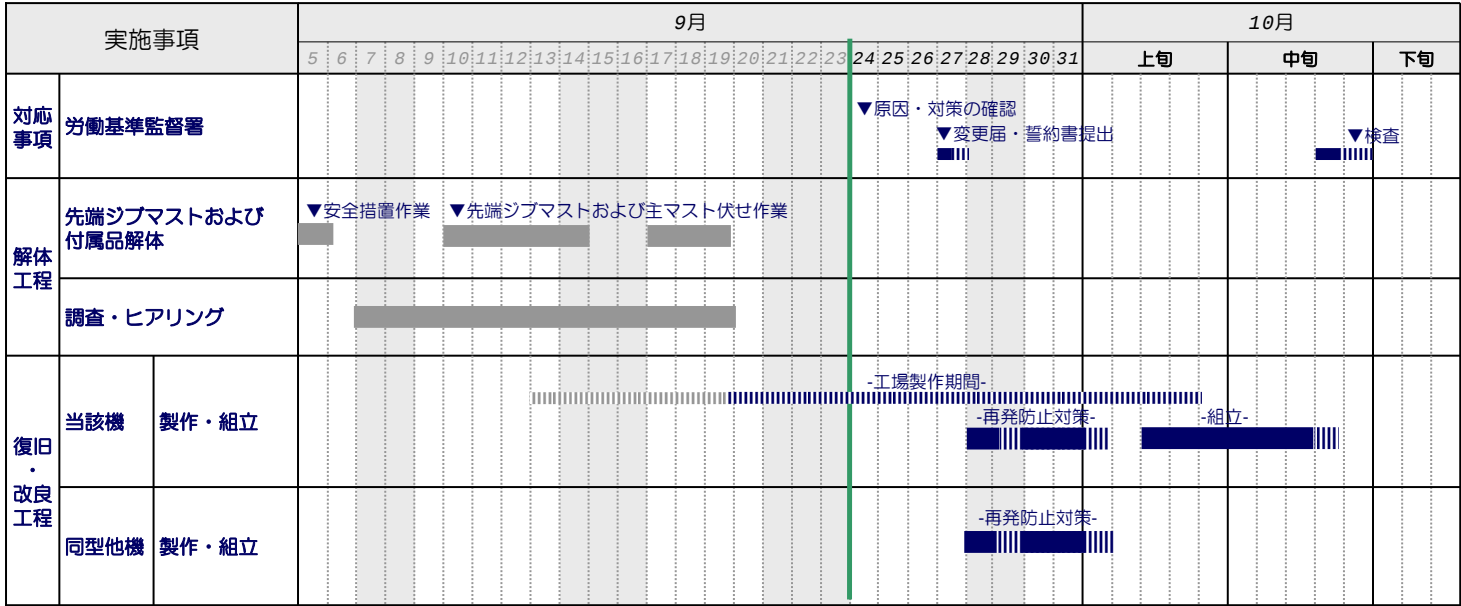
東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

8

5. 今後の予定工程 3号機関係（600tクレーン）

- ・「湯気らしきもの」発生により、約2週間遅延
- ・免震重要棟前ダスト濃度上昇により、約1ヶ月遅延
- ・遠隔操作式大型クレーン先端ジブマスト傾倒により、約1ヶ月半の遅延見込み
- 全体で約3ヶ月の遅延見込み



※天候不良等による予備日は含めていない。



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

9

5. 今後の予定工程 1・4号機関係（750tクレーン）

- ・4号機原子炉建屋カバリング工事の使用済燃料取り出しに影響は無いことを確認。
- ・1号機力バー解体工事については、4号機原子炉建屋カバリング工事からの750tクレーン引渡し時期の遅延により、今後関係箇所と調整が必要。

実施事項		9月																															10月		
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	上旬	中旬	下旬				
改良 工程	製作・組立																																		

追加説明資料

前回ご説明した要因について、検証を行った結果をご報告する

- 【絞り込んだ要因（再掲）】
- （1）当該組立分解用ねじ式継手の個体的製品不良の可能性
 - （2）クレーン通常利用時より振動が大きく、ナット緩み等の部材損傷の可能性
 - （3）第三者による当該部への故意的接触の可能性

追加資料 1：検証内容・結果

- 要因（１）に対し、当該継手と新品の継手の緩み試験を実施した。
【結果①】 当該継手と新品の継手のデータはほぼ同等なことを確認した。
⇒要因（１）の可能性は極めて低い
- 要因（２）に対し、当該継手の振動試験を実施した。
【結果②】 当該継手の締め付け力が弱い場合に振動による影響で緩む事象を確認した。
⇒要因（２）の可能性は残る
- 要因（３）に対し、作業時に不審者がいなかったことを再度協力会社へヒアリングを実施した。
【結果③】 当該場所は、高線量かつ約３mの高所に位置し作業中に不審者がいなかったことを確認した。
⇒要因（３）の可能性は極めて低い

- 要因（２）の結果②に対し、単独で発生することは考えにくいため、更なる追加検証として打診試験を実施した。
【結果④】 当該継手の打診音は緩みに関わらず一定(波形が類似)であることを確認した。
従って、6月末の年次点検時に実施したテストハンマーによる打診検査でナットの締め付け状況を的確に確認できなかった可能性が高い。
⇒要因（２）の可能性と既に当該継手が緩みだす直前の状況にあったことが原因と推定

追加資料 2：要因（１）の検証

- 【目的】
個体的製品不良の可能性を検証するため、当該組立分解用ねじ式継手（以下「当該継手」）と新品の継手の緩み試験を実施した。

当該継手と新品のデータを比較してほぼ同等なことを確認

要因（１）の可能性は極めて低い

締め付けナットをゆるめると継手ははずれる

締め付けナット

ロックナット

組立分解用ねじ式継手断面図

ナット同士が離れていない

↓

手締め程度

	当該継手を緩めるのに必要な力（N・m）	
当該継手を締め付けた力※（N・m）	当該継手	新品の継手
10	13.3	12.7
20	25.3	20.2
30	37.5	32.3
40	48.8	39.1

※締め付けナット
(ロックナットは一定の力(10N・m)で締め付け)

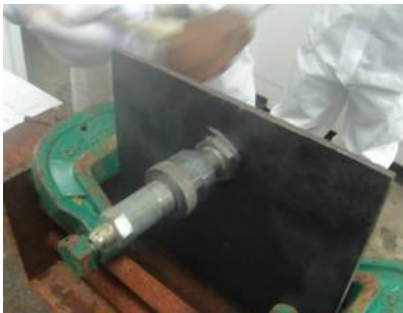
追加資料3：要因（2）の検証

【目的】
クレーン通常利用時より振動が大きく、ナット緩み等の部材損傷の可能性を検証するため、当該継手の振動試験を実施した。

当該継手は締め付け力が弱い場合に、振動による影響で緩む事象を確認

要因（2）の可能性は残る

【打撃回数の想定】
天井クレーンガーター穴空け作業の当該継手への振動を想定。（主マストの動いた振動を模擬）
10回／日×25日＝250回



振動試験状況

ナット同士が
離れていない
↓
手締め
程度

当該継手を 締め付けた力※ (N・m)	当該継手を緩めるのに必要な打撃回数（回）	
	打撃回数(回)	緩み
10	100	発生
20	250	緩みは確認できない
30	250	緩みは確認できない
40	250	緩みは確認できない

※締め付けナット
(ロックナットは一定の力(10N・m)で締め付け)

追加資料4：要因（3）の検証

【目的】
第三者による当該部への故意的接触の可能性を検証するため、9月2日の作業時に不審者がいなかったことを再度協力会社へヒアリングを実施した。

当該場所は、高線量かつ約3mの高所に位置し、作業中に不審者がいなかったことを確認

- ・当該クレーンは、稼働停止後も約2.5日は、ウインチ稼働中の油圧制御が保持されるため、ジブマストの姿勢は保持される。（メーカー確認）
- ・ドラムロックが有効に効いている状態で、当該クレーンを停止させた場合は、組立分解用ねじ式継手が万が一緩んだとしてもドラムロックへの油圧が上がるような仕組みはなく、ドラムロックは解除されない。（メーカー確認）

要因（3）の可能性は極めて低い

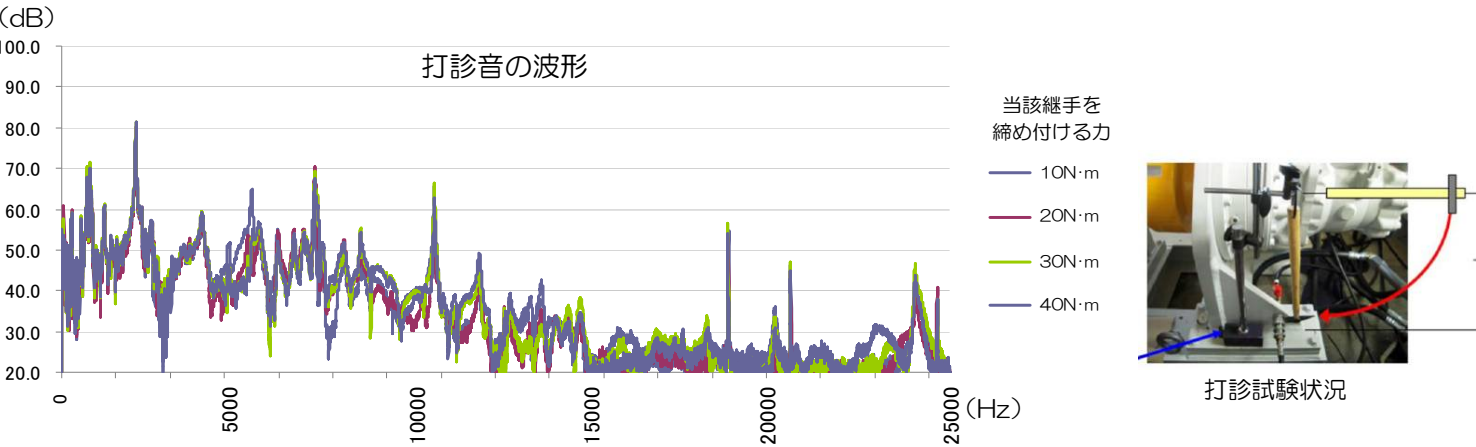
追加資料5：要因（2）の検証結果に対する追加検証

【目的】

要因（2）の結果②に対し、単独で発生することは考えにくいため、更なる追加検証として打診試験を実施した。

当該継手の打診音は緩みに関わらず一定（波形が類似）であることを確認。
従って、6月末の年次点検時に実施したテストハンマーによる打診検査でナットの締め付け状況を的確に確認できなかった可能性が高かった。

要因（2）の可能性はある



追加資料6：再発防止対策（追加）

- 対策(1)：ブレーキ機構に使われている、当該ねじ式継手を新品に取替える。
- 【要因(1)】
- 対策(2)：月次・日常点検において作業前後にナット緩みとドラムロックの作動確認を追加する。
- 【要因(1)(2)(3)】
- 月次、年次点検においてねじ式継手の増し締め(トルク管理)を実施する(検証により追加)
- 【要因(2)】
- 更なる信頼性向上のため、ねじ式継手の緩み止め対策を実施する(検証により追加)
- 【要因(2)】
- 対策(3)：リモート室からロック状態が確認できるように、表示灯を設置する。
- 【要因(1)(2)(3)】
- なお、点検項目は、当社監理員が実施された点検内容について立ち会いもしくは記録で確認する。

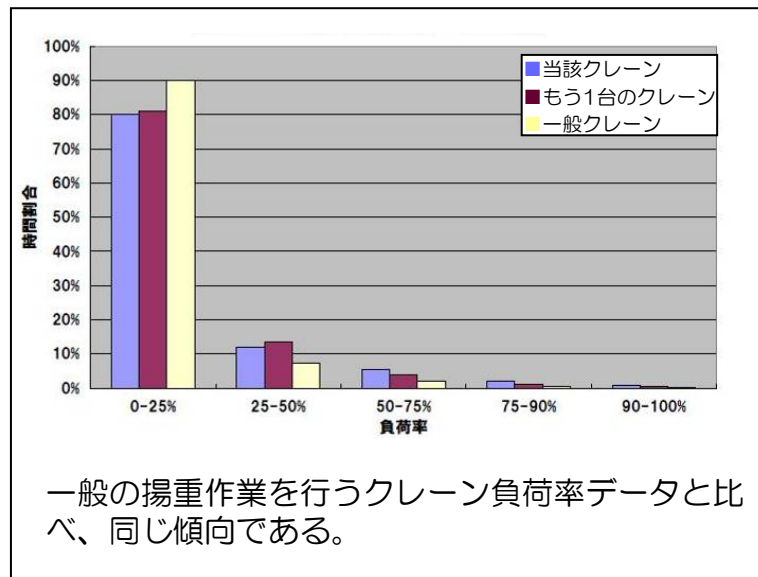
本件の事象を踏まえ、安全推進連絡会(9月26日)にて協力会社に発生事象と再発防止対策として他のクレーンにおいても作業開始前・作業終了後にドラムにブレーキがかかっていることを水平展開として説明済

【点検の具体的改善内容】

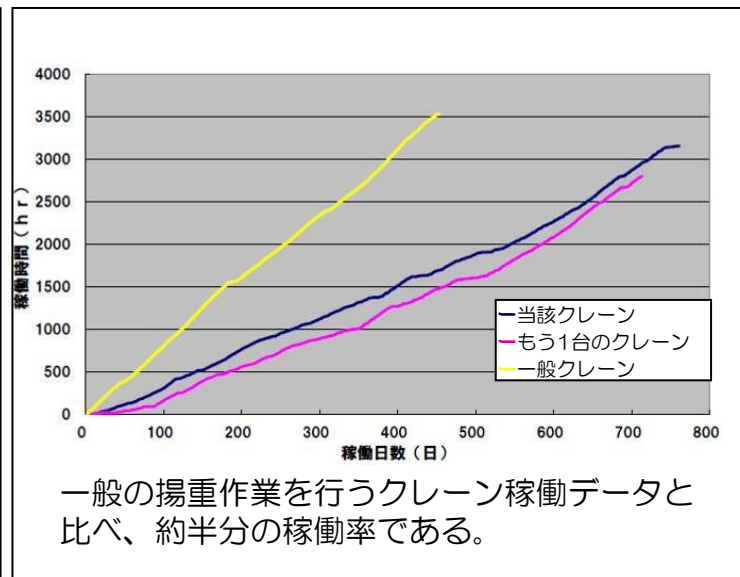
点検頻度	関係部位	【該当クレーン】 600tクレーン(3号機)	【類似の燃料取り出しに関わるクレーン】 750tクレーン(4号機)
年次点検	継手部位	・目視確認(油漏れ、損傷、変形)	・目視確認(油漏れ、損傷、変形)
	油圧配管	・目視確認(油漏れ、損傷、変形)	・目視確認(油漏れ、損傷、変形)
	ナット緩み	(変更点) ・テストハンマーによる打診検査を追加 (追加) ・組立分解用ねじ式継手の増し締め(トルク)、緩み止めを追加	・使用していないため対象外
	ドラムロック	・作動確認(ロック状態) ・目視確認(部材の摩耗・損傷)	・作動確認(ロック状態) ・目視確認(部材の摩耗・損傷)
月次点検	継手部位	・年次点検と同等	・年次点検と同等
	油圧配管	・年次点検と同等	・年次点検と同等
	ナット緩み	(変更点) ・テストハンマーによる打診検査を追加 (追加) ・組立分解用ねじ式継手の増し締め(トルク)、緩み止めを追加	・使用していないため対象外
	ドラムロック	(変更点) ・目視確認(部材の摩耗・損傷)を追加	・年次点検と同等
日常点検	継手部位	(変更点) ・部位単体の目視確認(油漏れ、損傷、変形)を追加	・年次点検と同等
	油圧配管	(変更点) ・部位単体の目視確認(油漏れ、損傷、変形)を追加	・年次点検と同等
	ナット緩み	(変更点) ・油漏れ確認からナットの緩みを確認	・使用していないため対象外
	ドラムロック部位	(変更点) ・作業前、作業後の作動確認(ロック状態)の追加 ・リモート室からロック状態が確認出来るように、表示灯を設置	(変更点) ・作業後の作動確認(ロック状態)の追加

当該クレーンの稼働状況は、一般の揚重作業を行うクレーン稼働データと比較しても同じ傾向であることを確認

■ 負荷率の比較

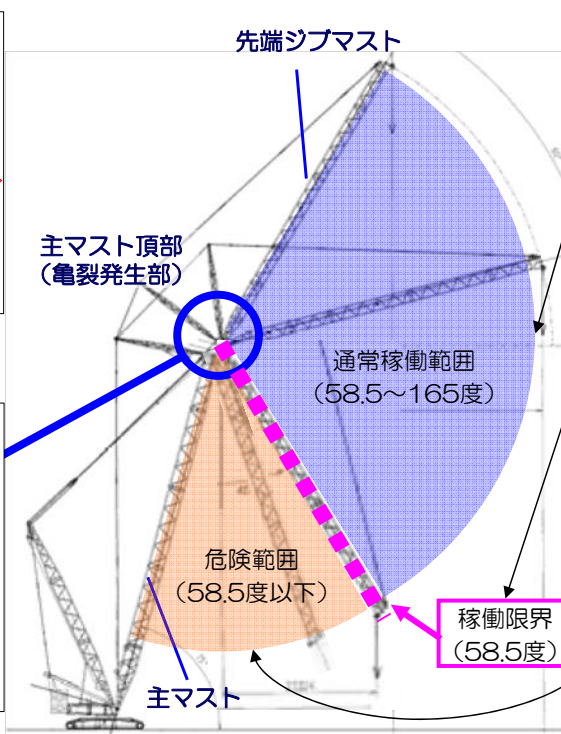
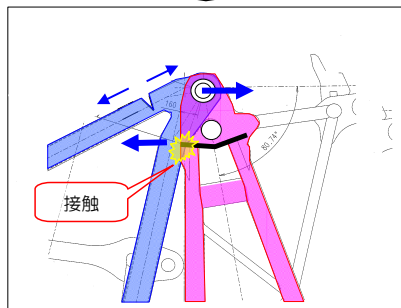
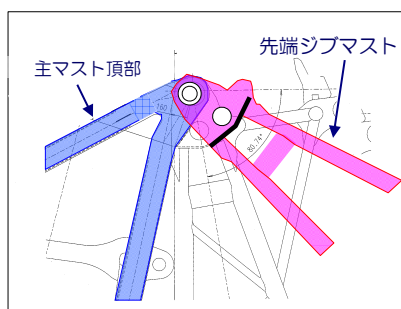


■ 稼働時間の比較



追加資料8：亀裂発生メカニズムについて

ドラムロックが解除された事により、先端ジブマストが傾倒し主マストに対し稼働限界を超えたため、主マスト頂部鋼材に許容耐力を上回る荷重がかかり亀裂が発生した。



【通常稼働範囲】 (58.5~165度)

【稼働限界】 (58.5度)

通常は、相対角が58.5度を下回った際はドラムロックが自動作動しジブ起伏を強制停止する機能がある。
今回はドラムロック自体が作動しない状態となっていたため機能しなかった。

【危険範囲】 (58.5度以下)

稼働限界を超えると主マスト頂部鋼材に荷重が生じ、危険な状態になる。
今回は、ジブ傾倒により相対角が稼働限界を下回る35度となり、鋼材の許容耐力を上回る荷重が生じ亀裂が発生した。

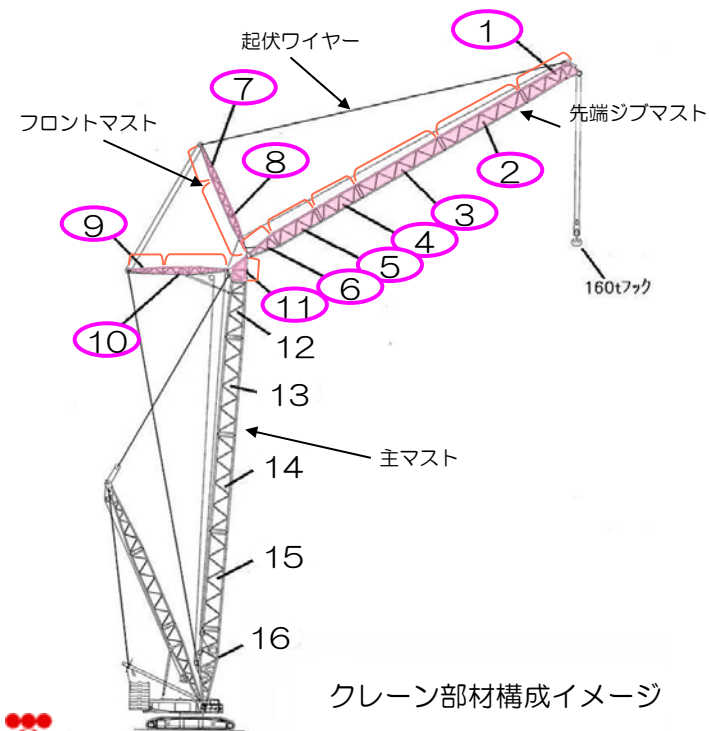
鋼材に働いた引張応力 6.8t/cm^2 > 鋼材の許容耐力 4.4t/cm^2

クレーン稼働範囲イメージ



【損傷部品】

- ・目視により、へこみ等の損傷が確認される部材
- ・各部材に発生した応力が許容応力を超えて破損した部材



部材	目視による確認	構造計算による確認	交換 要否
1	起伏ワイヤー 衝突によるへこみ	—	要
2		—	要
3		—	要
4		—	要
5	フロントマスト 衝突によるへこみ	—	要
6	破損	せん断応力6.19 t / cm ² > 許容応力4.6 t / cm ²	要
7	先端ジブマスト 衝突によるへこみ	—	要
8		—	要
9	起伏ワイヤー 衝突によるへこみ	—	要
10		—	要
11	破損	主材： 引張応力6.8 t / cm ² > 許容応力4.4 t / cm ²	要
12	異常なし	主材： 圧縮応力1.48 t / cm ² < 許容応力3.9 t / cm ²	否
13	異常なし	主材： 圧縮応力1.48 t / cm ² < 許容応力3.9 t / cm ²	否
14	異常なし	主材： 引張応力0.18 t / cm ² < 許容応力4.4 t / cm ²	否
15	異常なし	主材： 圧縮応力0.01 t / cm ² < 許容応力3.9 t / cm ²	否
16	異常なし	主材： 圧縮応力1.11 t / cm ² < 許容応力3.9 t / cm ² ラチス材： 引張応力1.00 t / cm ² < 許容応力4.4 t / cm ²	否