

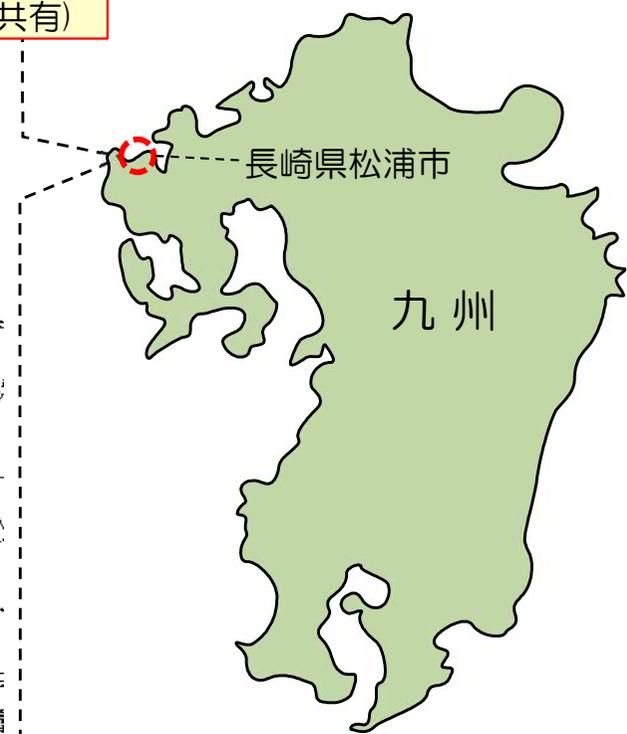
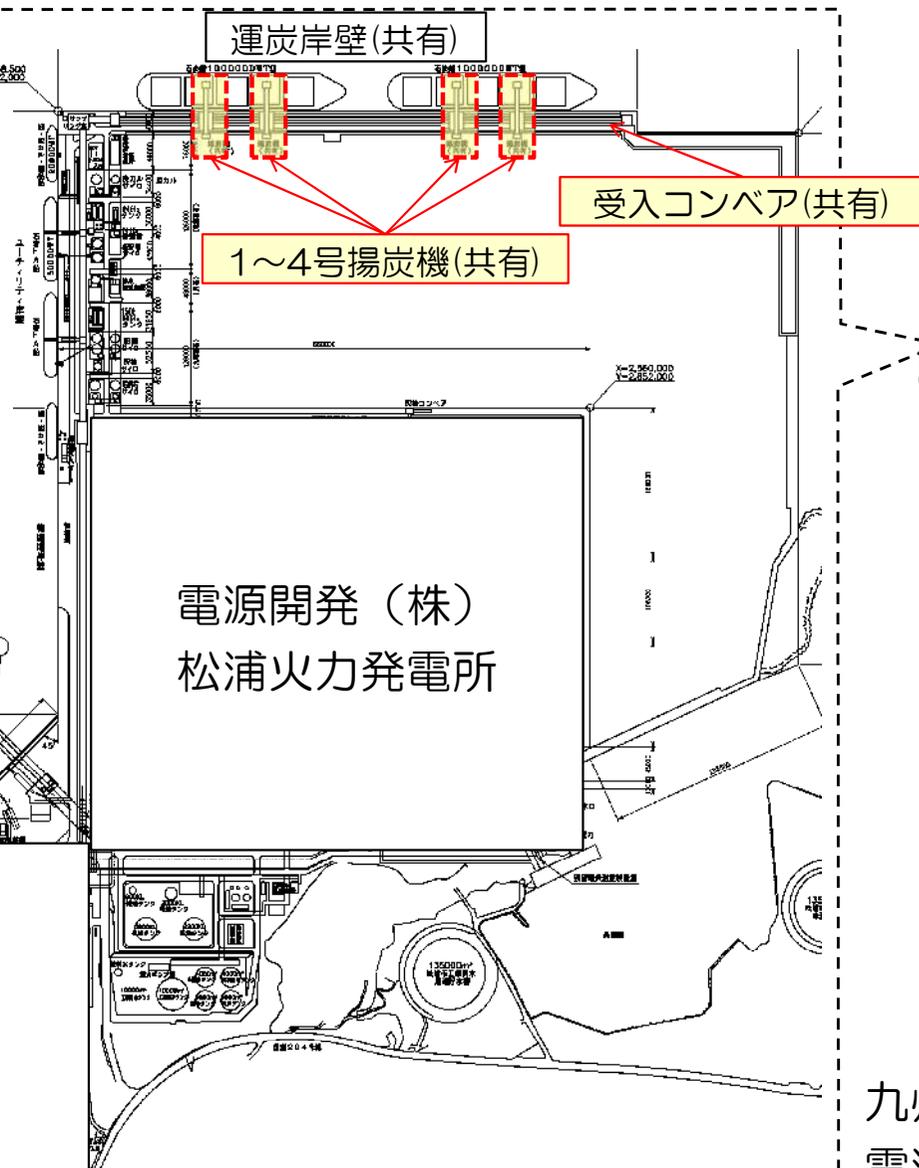
# 松浦発電所共有設備のうち揚炭設備の破損と 負傷事故について

2021年12月24日(金)  
九州電力株式会社

- 1 揚炭設備の概要
- 2 「事故の経緯」と「被害の状況」
- 3 事故の推定原因
- 4 再発防止対策
- 5 水平展開
- 6 参考：揚炭機の撤去と復旧工事
- 7 まとめ

## 〔松浦発電所〕

- 電源開発(株)と九州電力(株)の共同立地となっており、揚炭設備は共有設備のひとつ
- 共有設備は、電源開発(株)と九州電力(株)の共同出資により設立された西九州共同港湾(株)へ日常整備と運転を委託

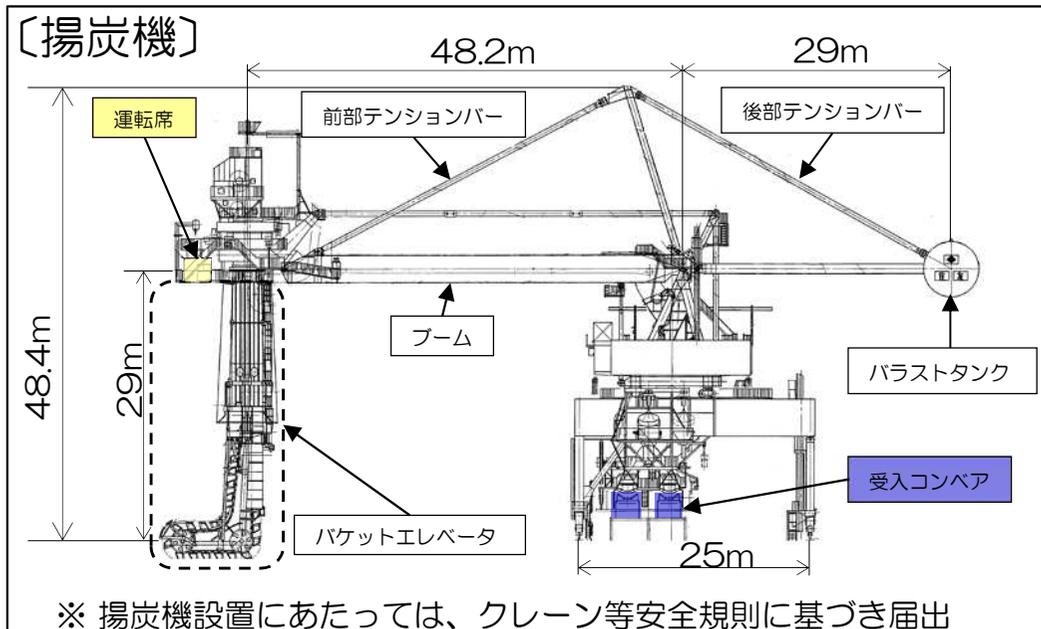
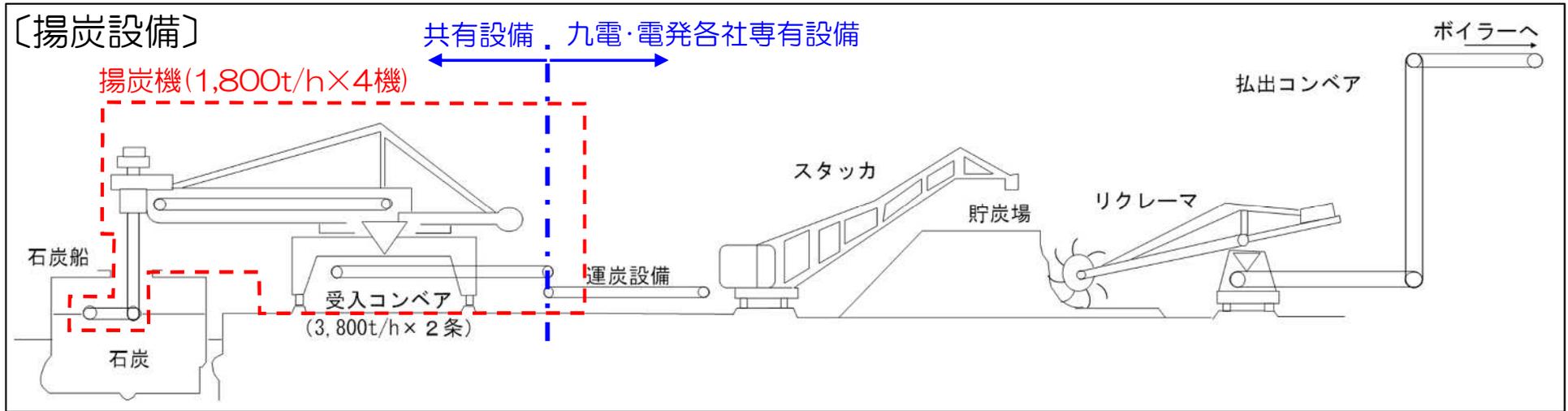


松浦発電所		出力	運開年
九州電力	1号機	70万kW	1989年 6月 30日
	2号機	100万kW	2019年 12月 20日
電源開発	1号機	100万kW	1990年 6月 29日
	2号機	100万kW	1997年 7月 4日

九州電力：以下、九電  
 電源開発：以下、電発  
 西九州共同港湾：以下、NKK

# 1 揚炭設備の概要（つづき）

- 揚炭設備は岸壁上に設置された石炭船より石炭を荷揚げするための揚炭機とコンベアで構成
- 揚炭された石炭は、受入コンベアから各社の運炭・積付設備を経由して貯炭場へ搬送



### ○ 事故発生当日の経緯(2021年4月4日)

- 朝の危険予知ミーティングと始業前点検後に九電受入石炭の荷揚げ作業を開始
- 17:25 強風(風速15m/s以上)のため揚炭作業を中断(天候：晴、風速：16.4m/s)
- 17:50 1号揚炭機係留位置へ移動後、荒天による不要動作防止の為、走行用車輪にストッパーを挿入
- 17:59 事故発生(風速：13.6m/s)

### ○ 被害の状況

#### 〔人的被害〕

- 1号揚炭機の運転席に搭乗していた協力会社社員2名※が破損時に運転席と共に地上に落下し負傷

男性 24歳 重傷(入院日数：約1か月)

男性 19歳 軽傷

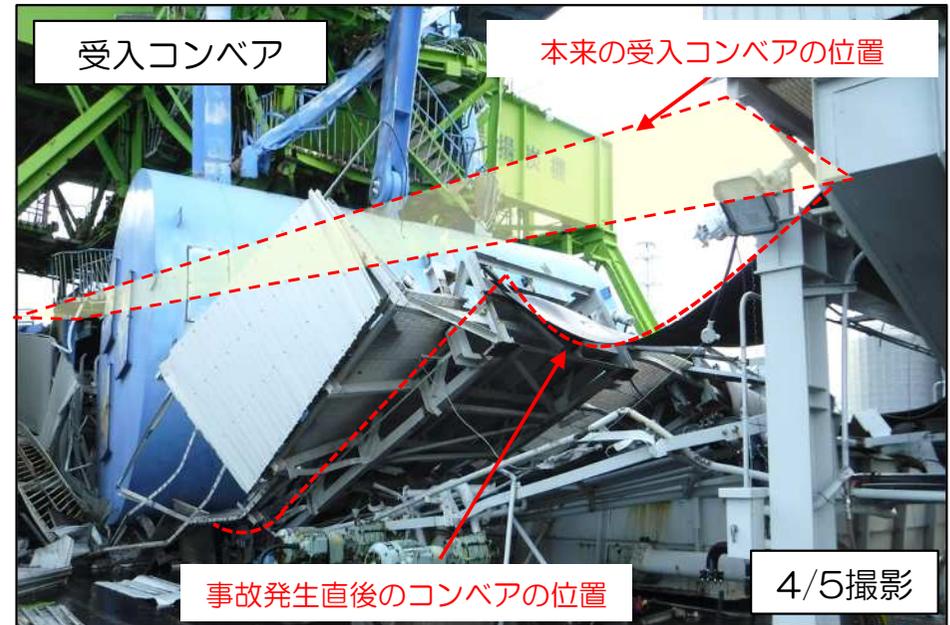
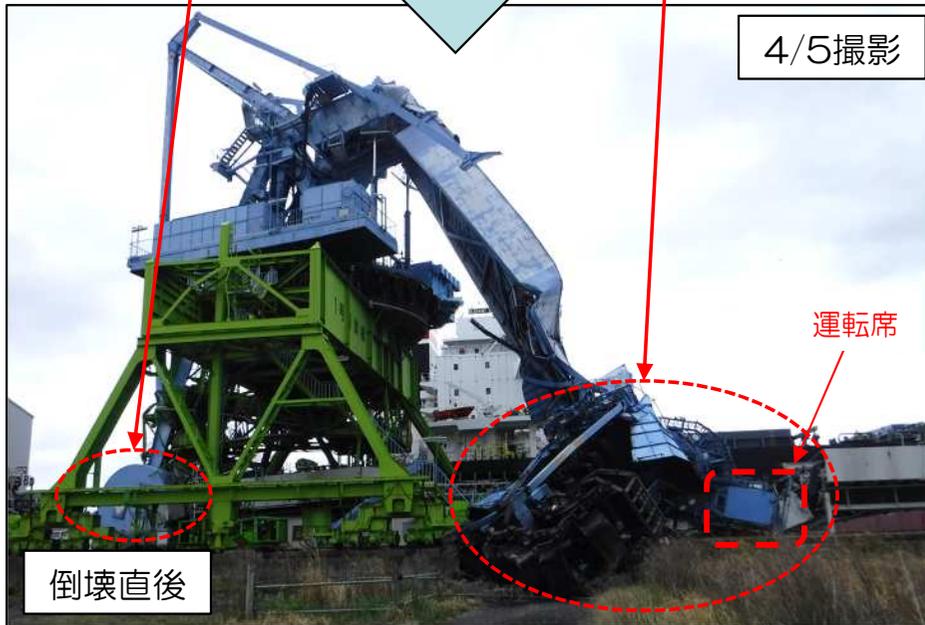
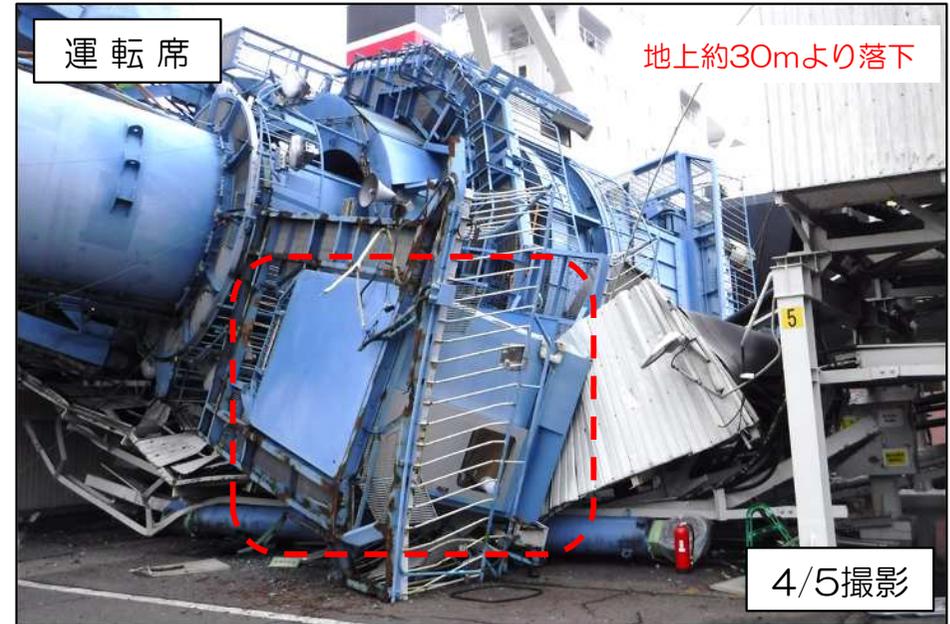
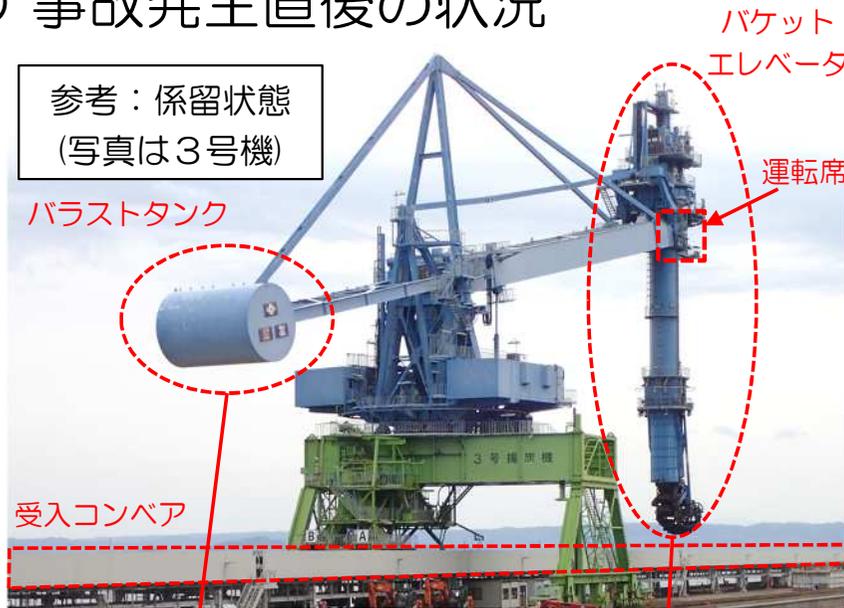
※ 通常1名で搭乗、当日は新人教育のため2名で搭乗

#### 〔設備被害〕

- 1号揚炭機：倒壊
- その他設備：1号揚炭機の倒壊により、揚炭機下部の受入コンベア(A系、B系)も損傷

## 2 「事故の経緯」と「被害の状況」 (つづき)

### ○ 事故発生直後の状況

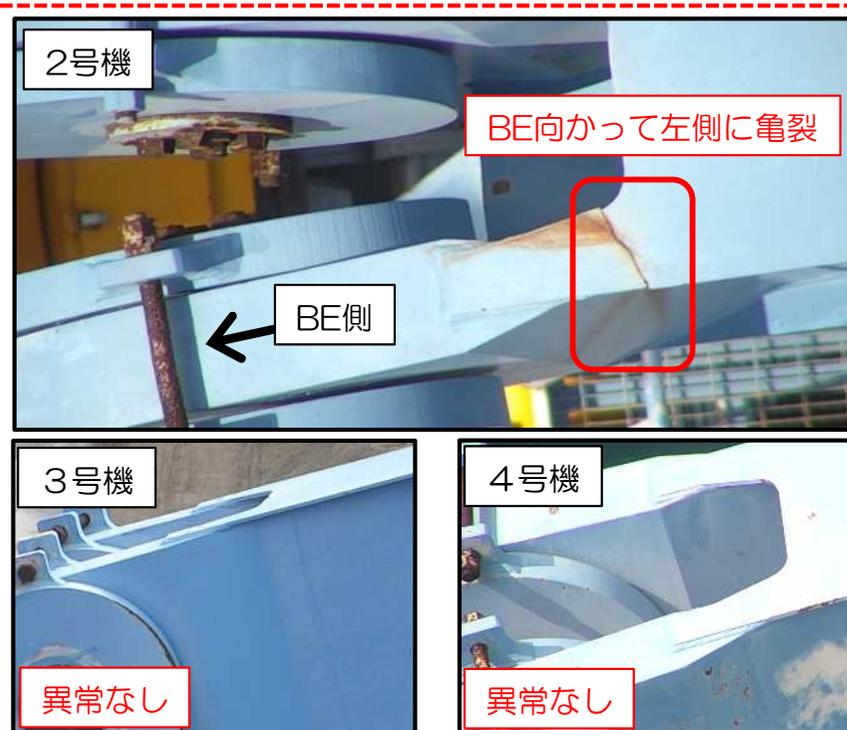
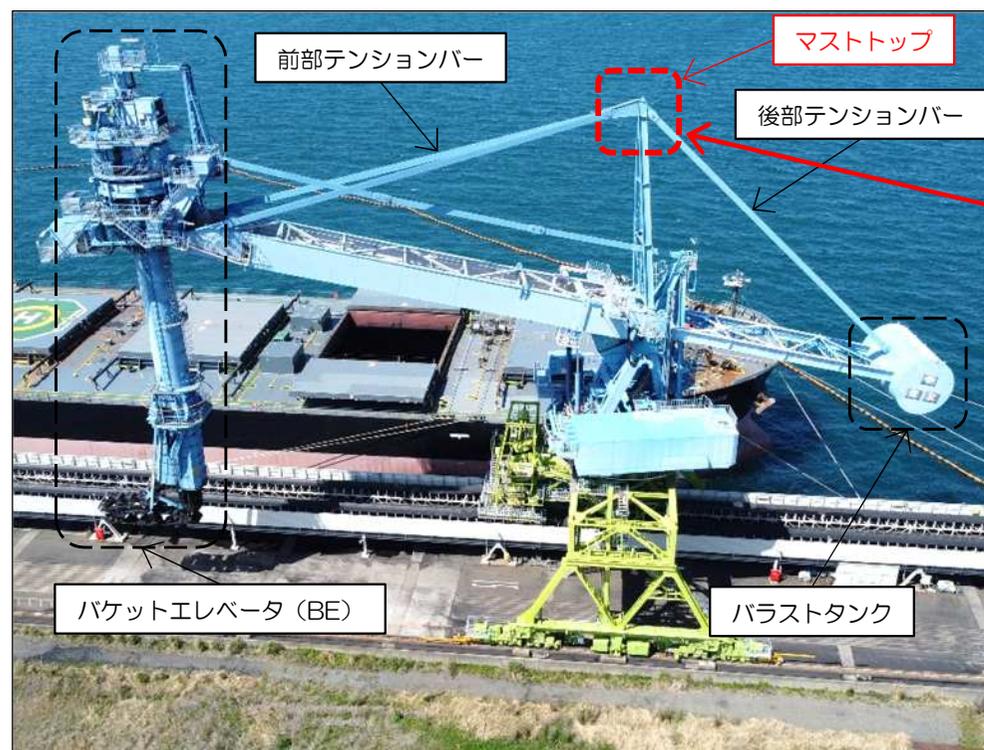


## 2 「事故の経緯」と「被害の状況」 (つづき)

### ○ 2～4号揚炭機の確認

- 当社ドローンを活用した点検の結果、2号揚炭機にき裂を確認
- 3,4号機については、ドローンを用いた点検と高所作業車を用いた非破壊検査(PT,UT)にてき裂などの異常がないことを確認

〔2～4号揚炭機確認結果〕



# 3 事故の推定原因

## ○ 倒壊の推定プロセス

- 前部テンションバーが破断したことにより、構造物としての形態が保てなくなり 倒壊

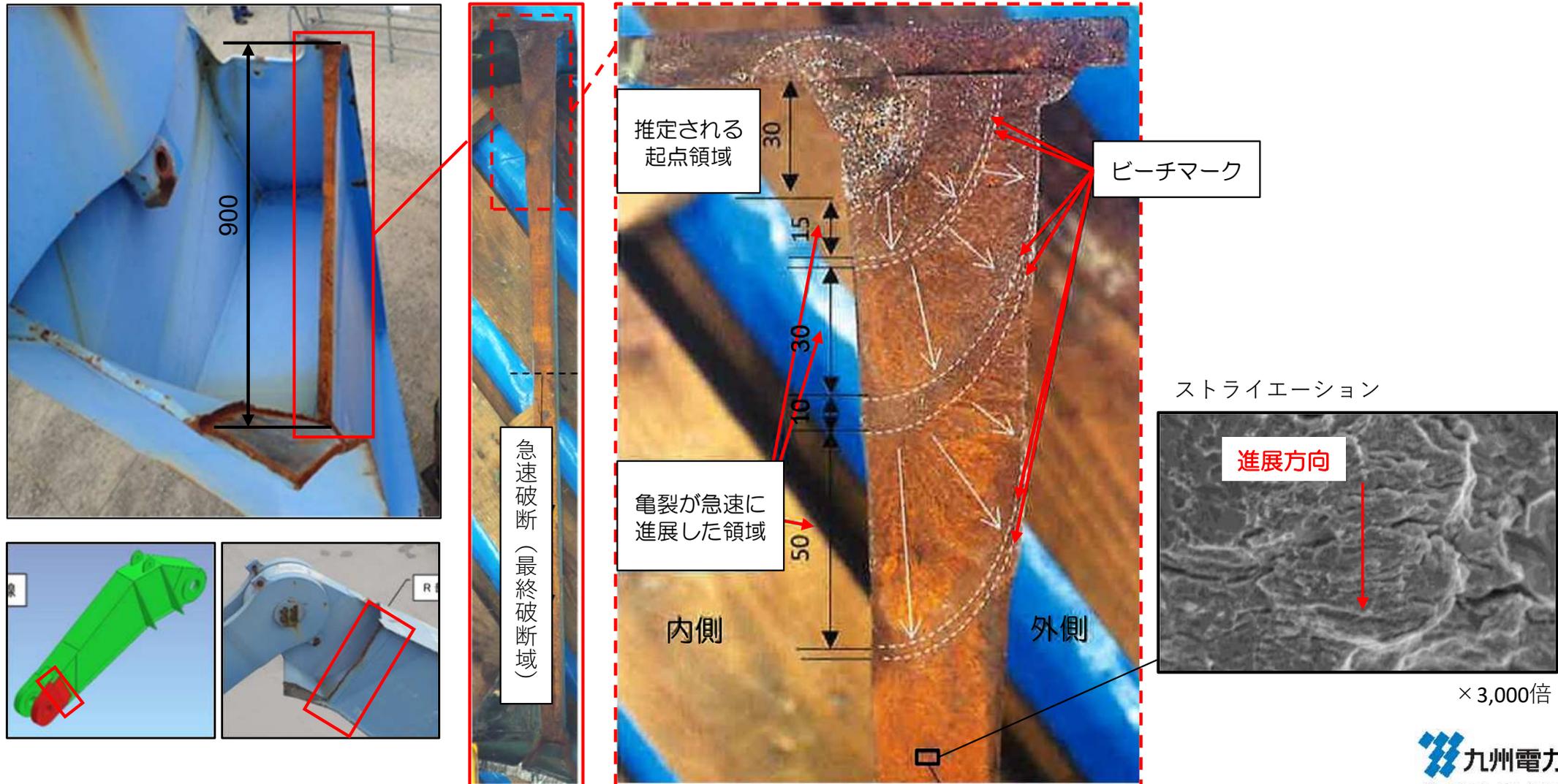
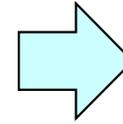
事故発生前	事故発生		
①係留状態	②前部テンションバー(左)の破断	③前部テンションバー(右)の破断	④倒壊
<p>前部テンションバー、バラスタタンク(BT)</p> <p>山側(右)</p> <p>海側(左)</p> <p>バケットエレベータ(BE)</p> <p>き裂が進展</p>	<p>破断</p> <p>捻れ</p> <p>風</p>	<p>破断</p> <p>落下</p>	<p>落下</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○係留位置にて停止</li> <li>○前部テンションバー(左)に長い年月をかけてき裂が進展していた状態</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○風の外力によりBEが山側に捻れる。</li> <li>○前部テンションバー(左)は、この外力により引張応力を受ける。</li> <li>○き裂が進展していた前部テンションバー(左)が破断</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○BEの荷重が前部テンションバー(右)のみに集中</li> <li>○前部テンションバー(右)も荷重に耐えられなくなり破断</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○BEとBTの荷重を釣り合わせる構造体が無くなったことにより、形態を保てなくなり倒壊</li> </ul>

### 3 事故の推定原因（つづき）

#### ○ 前部テンションバーの破断面解析

- 厚い錆が付着している。
- 疲労破壊の特徴であるビーチマーク及びストライエーションが観察される。
- 一部にき裂が急速に進展した領域が観察される。

- 初期き裂が発生後、揚炭作業時の応力などによりき裂が長い年月をかけて進展したものと推定



#### ○ 材料面

- 材料表とミルシート※で照合の結果、問題ないことを確認
- 製作当時、衝撃試験結果などを実施しており、靱性や疲労強度に問題がないことを確認

※ ミルシート：納品された鋼材の機械的性質や化学成分を記載したもの

#### ○ 設計面

- 強度計算書、FEM解析により、材料と構造の強度に問題ないことを確認
- これまでの運転データから求めた繰返し応力の実績回数による寿命消費は約3%程度であり、材料への疲労影響は十分に小さいことを確認

#### ○ 製作面

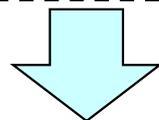
- 今回破断の箇所を切り出し、メーカ工場にて分析した結果、製作時における溶接と組立の不適合は確認されなかった。

#### ○ 操業面

- 運転記録の確認とオペレータへのヒアリングを実施し、恒常的に過負荷状態で運転していたなどの操業上の問題は確認されなかった。

#### ○ 保守面

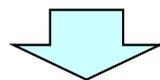
- 法令(クレーン等安全規則)に基づく点検(月次、年次、1回/2年の性能検査)を実施
- 必要に応じて不具合発生箇所の補修を実施



#### ○ 特異な事象が初期き裂の原因となっている可能性

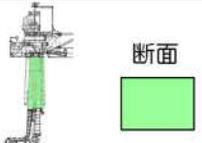
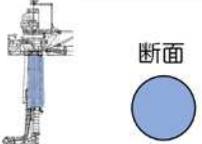
## ○ 初期き裂発生要因の推定

- 「2号揚炭機のき裂発生箇所が、1号揚炭機の破断発生箇所と一致する」
- 「3,4号揚炭機は、き裂の発生などなく問題がない」



- 「1,2号揚炭機のみが存在するときに特異な事象が発生した可能性」
- そこで、気象庁データベースなどを参照し、可能性のある特異な事象を検索すると、1991年に長崎県佐世保市に上陸した台風19号がこれに当たることが分かった※1。（※1：次頁参照）
- 現在の知見に照らし合わせると、強風によりギャロッピングと呼ばれる発散的振動が発生、揚炭機が大きく振動し、これが要因となり初期き裂が発生した可能性があることがわかった※2。（※2：12,13頁にて詳細説明）
- ギャロッピング現象は断面形状が矩形の際に発生しやすく、当該機のバケットエレベータは同台風通過時において矩形であった。なお、更新により現在の断面形状はすべて円形であり、ギャロッピングは発生しない形状となっている。

〔揚炭機バケットエレベータの変遷〕

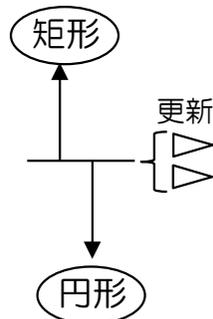
項目	1号機	2号機	3号機	4号機	形状
使用開始（矩形）	1988年11月 （昭和63年）		1996年12月 （平成8年）		 断面
バケットエレベータ更新（円形）	2010年 （平成22年）	2009年 （平成21年）	2017年 （平成29年）	2016年 （平成28年）	 断面

# 3 事故の推定原因（つづき）

## ※ 気象庁公開データに基づく原因となった強風候補の抽出

年	平戸						
	平均風速	最大風速			最大瞬間風速		
		風速	風向	月日	風速	風向	月日
1984	3.2	12.7	北西	2月7日	25	北西	2月7日
1985	3.2	16.3	北西	8月31日	33	北北西	8月31日
1986	3.1	13.5	南南東	8月28日	27.6	南	8月28日
1987	3.2	27	南南東	8月31日	53.2	南	8月31日
1988	3.6	12.1	北西	1月23日	28.9	西北西	1月21日
1989	3.3	16.5	南東	7月28日	34.1	南東	7月28日
1990	3.3	12.6	北北東	3月25日	26.1	北	9月19日
1991	3.6	26.8	北西	9月27日	49.5	北西	9月27日
1992	3.5	19.2	北	8月8日	38.2	北北西	8月8日
1993	3.4	20.3	南	8月10日	44.3	南南東	8月10日
1994	3.4	14.7	南	10月12日	30.7	南南東	10月12日
1995	3.6	14.6	南南東	7月23日	31.7	南南東	7月23日
1996	3.4	15.7	北	8月14日	33.3	北	8月14日
1997	3.5	13.7	北	9月16日	27.6	北	9月16日
1998	3.3	13.2	北	1月15日	27.5	北	1月15日
1999	3.3	13.5	北西	9月24日	29	北	9月24日
2000	3.4	13.9	北西	2月8日	34.3	南東	9月16日
2001	3.5	14.4	北西	1月14日	26.8	北北東	9月21日
2002	3.6	16.9	南南東	8月31日	34.4	南東	8月31日
2003	3.5	17.6	南南東	6月19日	34.8	南南西	9月12日
2004	3.5	20.8	北	8月30日	42.4	北	8月30日
2005	3.6	18	北西	9月6日	34.8	北	9月6日
2006	3.6	20.6	北	9月17日	36.9	北	9月17日
2007	3.4	13.6	北北西	7月14日	28.1	北西	1月7日
2008	3.3	12.8	北	3月19日	24.4	北	3月19日
2009	3.4	14.5	北	10月7日	25.8	北	10月7日
2010	3.5	12.2	南南西	8/11 *	23.6	北西	3月10日
2011	3.4	13.2	北北西	9/3 *	24.1	北	9月3日
2012	3.3	17.3	南南東	9月17日	30.9	南南東	9月17日
2013	3.4	15.3	南	10月8日	29.4	南	10月8日
2014	3.4	15.9	北	10月13日	32	北	10月13日
2015	3.2	14.1	北西	8月25日	26.4	北西	8月25日
2016	3.1	13.4	北	9月20日	25	北北東	9月20日
2017	3.2	14.5	北	10月22日	26.5	北北東	10月22日
2018	3.1	17.8	南	7月3日	32.7	南	7月3日
2019	3	15.8	南南東	9月22日	29.6	南南東	9月22日
2020	3.2	22.9	南東	9月7日	42.8	南東	9月7日
2021	3.3	10.6	南南東	5月4日	20.8	西北西	1月28日
最大	3.6	26.8			49.5		

1,2号バケット  
エレベータ形状



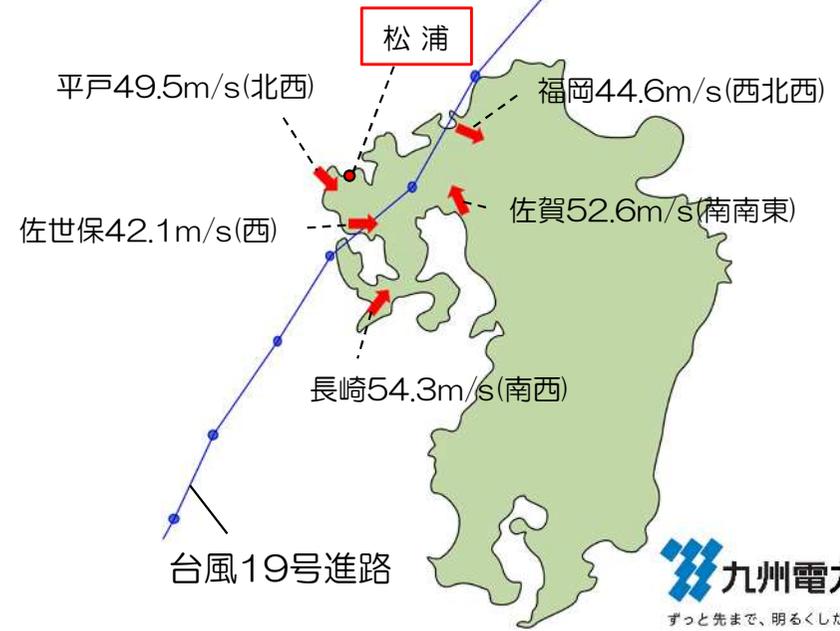
1988年11月  
1,2号使用開始

1991年台風19号

1996年12月  
3,4号使用開始

○ 松浦市の最大瞬間風速・風向データ統計開始は2008年であるため、松浦に近い平戸のデータを抽出した結果、1,2号揚炭機のみが存在していてギャロッピングが発生した可能性がある強風は1991年の台風19号

〔1991年台風19号時に記録された最大瞬間風速の分布〕



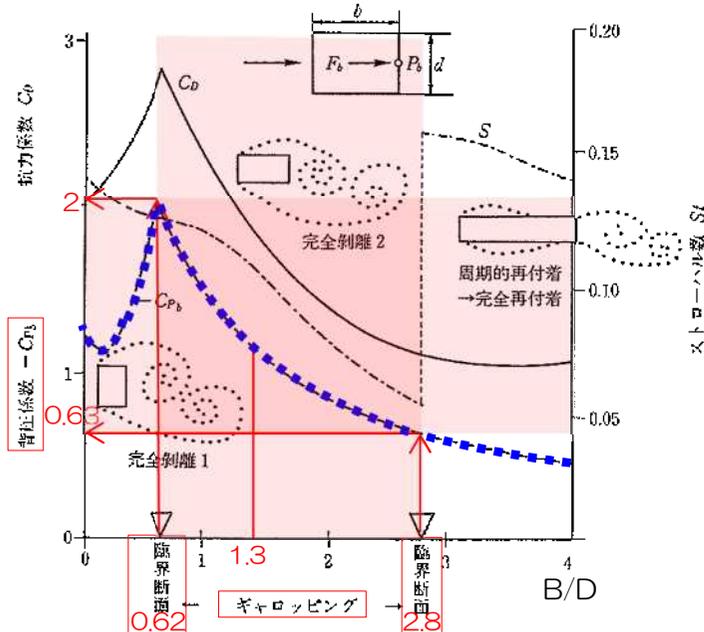
# 3 事故の推定原因 (つづき)

## ○ ギャロッピング振動

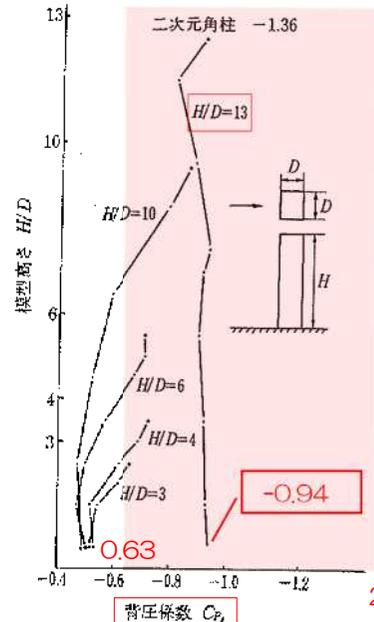
- 高風速域において風向の直角方向に大振幅の振動が発生する発散振動

## ○ ギャロッピングが発生する条件と松浦発電所揚炭機の形状

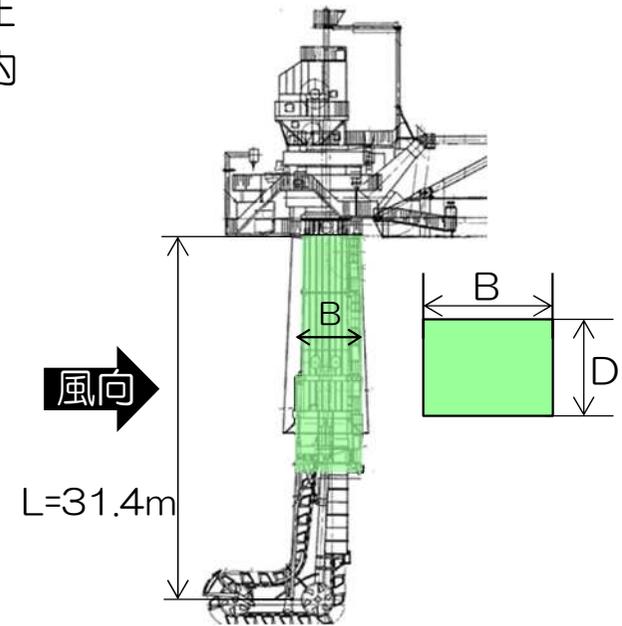
ギャロッピング発生条件		
断面形状	円形	発生しない
	矩形	$0.62 \leq B/D \leq 2.8$
背圧係数		$0.63 \leq -C_{pb} \leq 2$



- 柱の長さによる背圧係数の関係  
柱の長さが  $L/D=13$  付近であれば背圧係数はギャロッピング発生時の範囲内 ( $C_{pb} = -0.94$ )



- 台風19号当時のBE形状



松浦発電所の形状

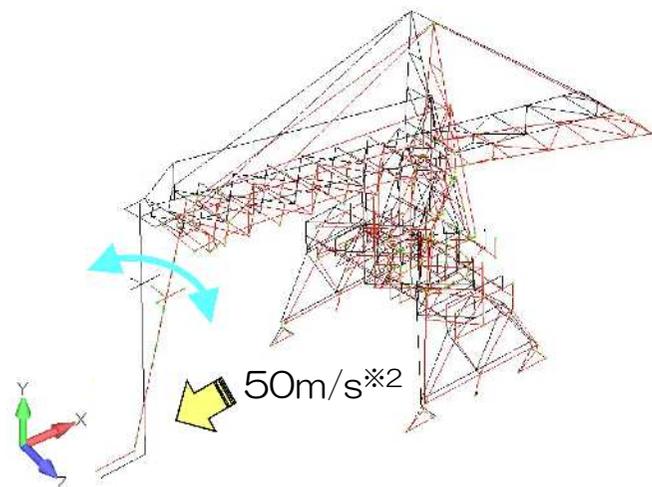
B	D	L	B/D	L/D
3.1	2.3	31.4	1.3	13.7

- 台風19号当時のBE形状は、ギャロッピングの発生する条件に合致

※ グラフは、「構造物の耐風工学(社団法人 日本鋼構造協会)」より引用

## ○ ギャロッピング発生時の応力評価

### ○ 解析モデル

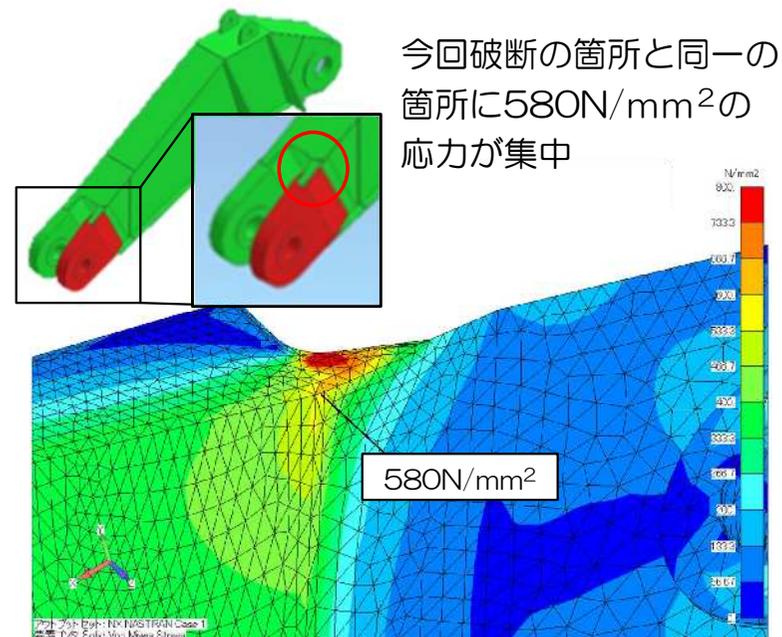


- ギャロッピングの発生により揚炭機全体が固有振動数<sup>※1</sup>(0.5Hz)で大きく振動
- ※1 揚炭機の固有振動数は、固有値解析により算出
- ※2 1991年台風19号通過時に、松浦発電所に最も近い観測点(平戸)にて観測された最大の風速49.5m/sの近傍の値

### ○ 評価

- 応力解析の結果、台風19号通過時の最大風速近傍にてき裂発生箇所に生じた応力(580N/mm<sup>2</sup>)は、許容引張強さ(570N/mm<sup>2</sup>)を超過しており、応力集中箇所である溶接部付近にき裂が発生する可能性が高い。

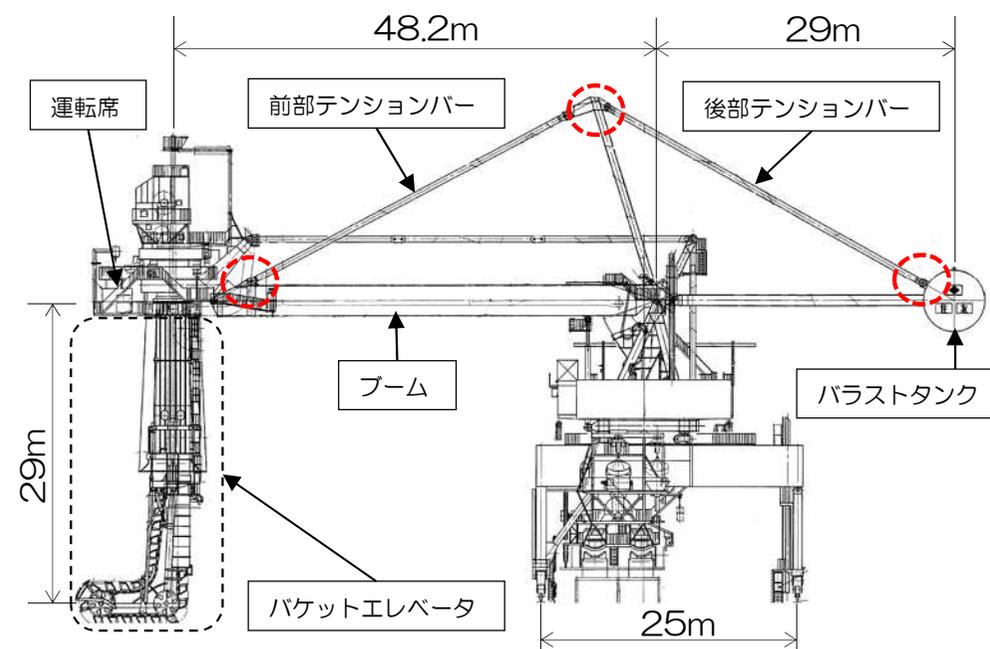
### ○ FEM解析



- 推定原因を踏まえ、設備異常の早期発見のため、クレーン構造上負荷の集中する箇所を特定し、以下の対策を実施することとした。

## 〔再発防止策〕

- 自主点検（1回/月）でのドローンによる外観点検
- クレーン等安全規則による点検（1回/2年）時に高所作業車を用いた構造上負荷が集中する箇所の目視点検および非破壊検査実施
- クレーン等安全規則に定められた暴風後（瞬間風速：30.0m/s超過）または地震後（震度4以上）など構造部への被害が懸念される場合のドローンによる点検



○ : 負荷の集中する箇所

○ 揚炭機点検内容の見直し（前頁の再発防止対策）のほか、以下の対応を実施することとした。

### 〔対応内容〕

#### ○ 点検内容の明確化と風化防止

- 前頁の再発防止策を保安規程の下位規程に当たる基準・マニュアルへ明記し、記載に至った理由を併記
- 毎年の発電所業務計画に「全所員を対象とした本事象の周知」を追加し、実施するに至った理由を明記し風化防止を徹底

#### ○ 本事象の確実な理解と情報共有体制の再確認

- 本事象の推定原因や補修内容および再発防止策について、全ての作業員へ説明会※を実施  
※2021年6月実施
- 不具合発見時は保安規程の下位規程に当たる基準に基づき直ちに必要な応急措置を講じるとともに恒久的な対策を検討、実施することを再確認
- 不具合発見時や新たな知見入手時の迅速な情報共有体制について、電発・NKK・メーカーと再確認

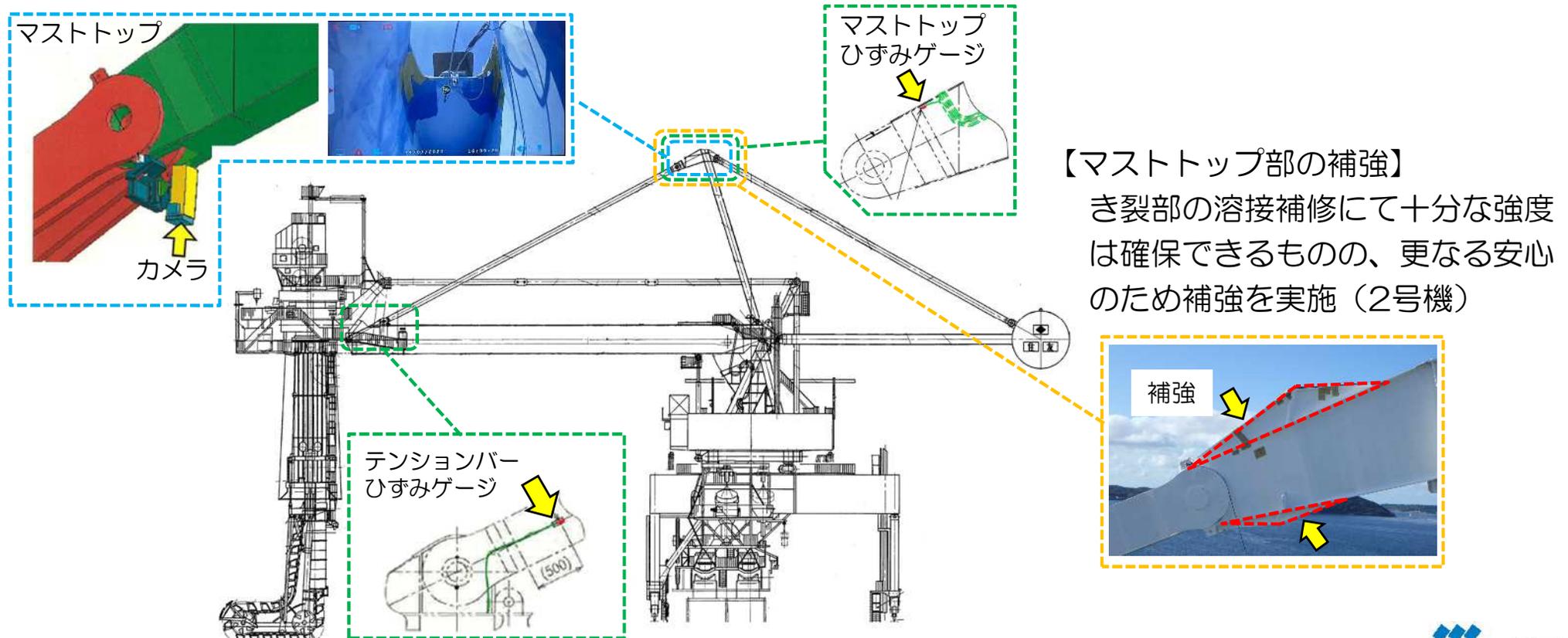
- 更に、松浦発電所では運転員を含む作業従事者が今後も安心して操業ができるように、以下の取り組みを実施

## 【監視カメラ】

破損の起点となった初期き裂発生箇所（マストトップ内側）を、運転席で常時監視できるカメラを設置

## 【応力監視装置】

部材に過大な応力が発生していないことを確認するためにひずみゲージにより発生応力を監視できる応力監視装置を設置



## 【マストトップ部の補強】

き裂部の溶接補修にて十分な強度は確保できるものの、更なる安心のため補強を実施（2号機）

## ○ 九電の社内水平展開状況

- 松浦発電所での事故を受け、揚炭機を保有している苓北発電所において、本事象の周知を行い、ドローンによる点検と溶接線の非破壊検査（浸透探傷試験）を実施し健全性を確認した。
- 今後は、松浦発電所の再発防止策を参考にした点検を実施し、不具合の早期発見に努める。

## ○ 製造メーカーによる水平展開の状況(聞き取り)

- 製造メーカーより納入したすべての揚炭機使用者へ、今回事象の周知を実施
- 上記のうち国内に設置された揚炭機（51基）すべてに異常がないことを確認

## ○ 実績工程

○ 1号揚炭機の撤去から復旧に至るまでの主な工程は以下のとおり

時 期	'21年4月			'21年5月			'21年6月			'21年7月			'21年8月			'21年9月		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
主要イベント	▼ 4/4 事故発生			▼ 4/16 九州電力 運転停止			▼ 4/25 電源開発 運転停止			▼ 7/16 揚炭作業再開			▼ 7/12 九州電力 運転再開			▼ 7/12 電源開発 運転再開		
1号揚炭機撤去作業	[黒塗り]						5/31 撤去完了			*現時点において、1号揚炭機の再設置予定なし								
受入コンベア復旧作業	[黒塗り]						[黒塗り]			7/17 復旧			[黒塗り]					
3,4号揚炭機健全性確認	[黒塗り]						[黒塗り]			7/16 3,4号揚炭機復旧			[黒塗り]					
2号揚炭機補修作業、健全性確認	[黒塗り]						[黒塗り]			[黒塗り]			[黒塗り]			9/18 2号揚炭機復旧		
内航船による石炭受入	[黒塗り]						[黒塗り]			[黒塗り]								

○ 内航船による石炭受入状況



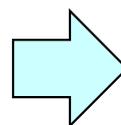
受入コンベアの損傷により石炭受入が出来なくなったことから、外航船から内航船へ積み替えて、両社で協力して石炭を受入。  
 九電では約11万t※を積み増し  
 ※ 点灯帯での最大出力で約18日分

## ○ 1号揚炭機の撤去

- 撤去する対象の構造物は点溶接などで仮補強した後に切断し、台船に積み込み搬出

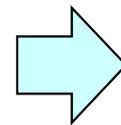
## ○ 受入コンベアの復旧工事

- 1号揚炭機撤去後、損傷した受入コンベアの復旧作業に着手し、7月16日には揚炭作業を再開



## ○ 2号揚炭機の復旧工事

- き裂発生箇所は、溶接補修により安全を確保した後、高所作業車を用いた非破壊検査(PT,UT)にて、その他の箇所にき裂などの異常がないことを確認
- 運転再開までの間、九電・電発・NKK一体となって協力会社作業員の心のケアを実施



- 当該揚炭機は法令(クレーン等安全規則)に基づく定期点検のほか、必要な補修を行ってきたものの、重大災害が発生しており、事業者として重く受け止めている。
- 今後は再発防止策として、ドローンや高所作業車を用いた近接点検により、異常の早期発見に基づいた的確な保守へ繋げ、保安の確保に努めていく。
- また、更なる安心に向けた取り組みとして、き裂発生部位を常時監視するカメラや応力監視装置を設置するとともに、2号機についてはき裂補修部の補強を施した。
- 事業者として、今回の事象を真摯に受け止め、二度と同じ災害を起こさないよう、スマート保安を含めた新技術活用検討も踏まえ、設備異常の早期発見に努めていく。