

福島第一原子力発電所 6号機
非常用ディーゼル発電機（A）
調速装置（ガバナー）の不具合について

2017年11月30日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. 事象の概要
2. 現場調査結果
3. 工場調査結果
4. 推定原因
5. 再発防止対策

1. 事象の概要（1 / 2）

■ 不具合概要

平成29年10月30日、当所6号機において、非常用ディーゼル発電機（A）（以下、「D/G6A」という）を定例試験のため起動した。起動操作後、D/G6Aを非常用交流電圧電源母線（以下、「6.9kVM/C6C」という。）への並列準備を行った。

中央操作室（以下、「中操」という）にて周波数を調整するため、調速装置（以下、「ガバナー」という）の操作スイッチ（以下、「CS」という）を操作したところ、D/G6Aの周波数が変化しないことが確認された。

そのため、5・6号機当直長は、D/G6Aが6.9kVM/C6Cへ並列できないことから、待機除外を判断した。

D/G6Aの現場制御盤にも、ガバナーのCSが設置されていることから、現場制御盤にてガバナーの操作を試みたが、周波数調整ができなかった。

その後、10月31日にガバナーの点検を行ったところ、ガバナーの減操作（周波数を下げる）は、動作可能であったが、増操作（周波数を上げる）ができないことが確認された。

このため11月2日、D/G6Aが安全上特に重要な関連機能（非常用所内電源設備）を有していない（福島第一規則第18条第4号に該当）と判断した。

その後、ガバナー一式を工場へ持出して点検・調査を行い、モーターについては新規交換を行い組み合わせ試験を実施して異常の無いことを確認した。11月13、14日にガバナー取付・機関確認運転を実施後、異常の無いことを確認し待機状態に復帰した。

1. 事象の概要 (2 / 2)

■ 時系列

H29. 5.31	D / G 6 A点検開始	
H29. 5.31	機関本体点検開始	
H29. 6.12,13	ガバナー取外し	} ガバナー本格点検
H29. 6.16	現場搬出	
H29. 6.21	ガバナー分解点検開始	
H29. 7.11	補機類点検開始	
H29. 7.18	ガバナーモーター抵抗測定	} ガバナー本格点検
H29. 7.24	ガバナー分解点検終了	
H29. 8. 8	現場搬入	
H29. 8. 9,10	ガバナー取付	
H29. 9.11~22	オイルフラッシング	
H29. 9.28	補機類点検終了	
H29.10. 3	無負荷試運転	
H29.10. 4	100%負荷試運転 & 電気式過速度トリップ試験	
H29.10. 5	機械式過速度トリップ試験 & 燃料移送ポンプ試運転 (機関本体点検終了)	
	16:58~D / G 6 A待機	
H29.10.30	定例試験 (不具合発生)	
H29.11. 2	福島第一規則第18条第4号の該当判断	
H29.11. 3~12	ガバナーモーター点検 (工場持出~点検・調査~現地発送)	
H29.11.13	ガバナー取付	
H29.11.14	機関確認運転	
	16:59~D / G 6A待機	

2. 現場調査結果（1 / 4）

- ガバナーを増側に操作しても周波数（回転速度）が上昇しない事象を踏まえて、ガバナーの調査を実施し、以下の通り、**ガバナーモーターの上昇操作時に不動作となることが確認**された。（H29.10.31）

①ガバナーモーターの動作状況の確認

中操及び現場制御盤のガバナーCSによる周波数の**上昇操作時**

→**ガバナーモーターは不動作**

中操及び現場制御盤のガバナーCSによる周波数の**下降操作時**

→**ガバナーモーターは動作**

②ガバナー操作回路の健全性確認

中操及び現場制御盤のガバナーCSによる周波数の**上昇操作時**

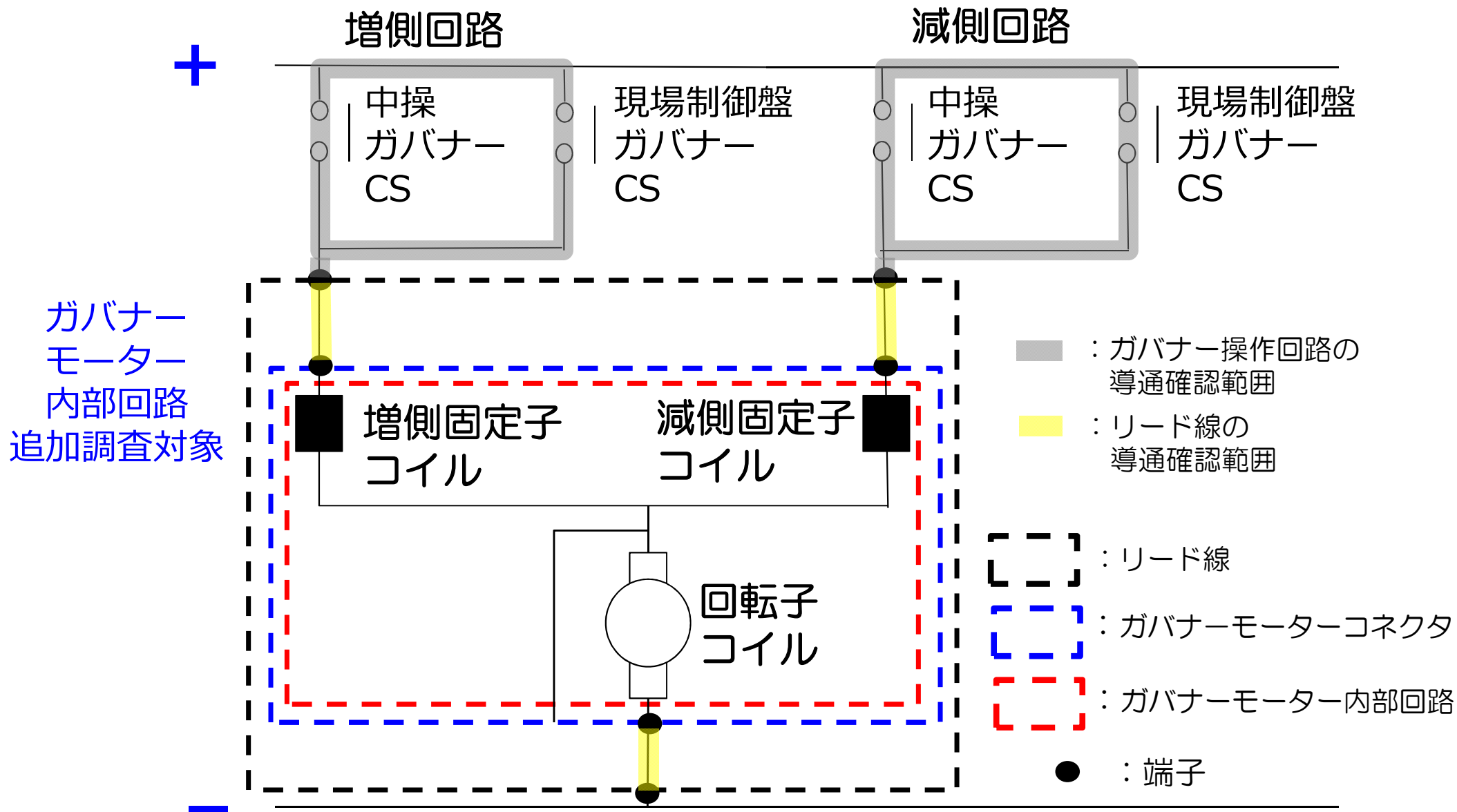
及び**下降操作時**の電圧測定を行い、異常なし

③ガバナーまでのリード線の健全性確認

各リード線の導通確認及び外観点検を行い→**断線及び異常なし**

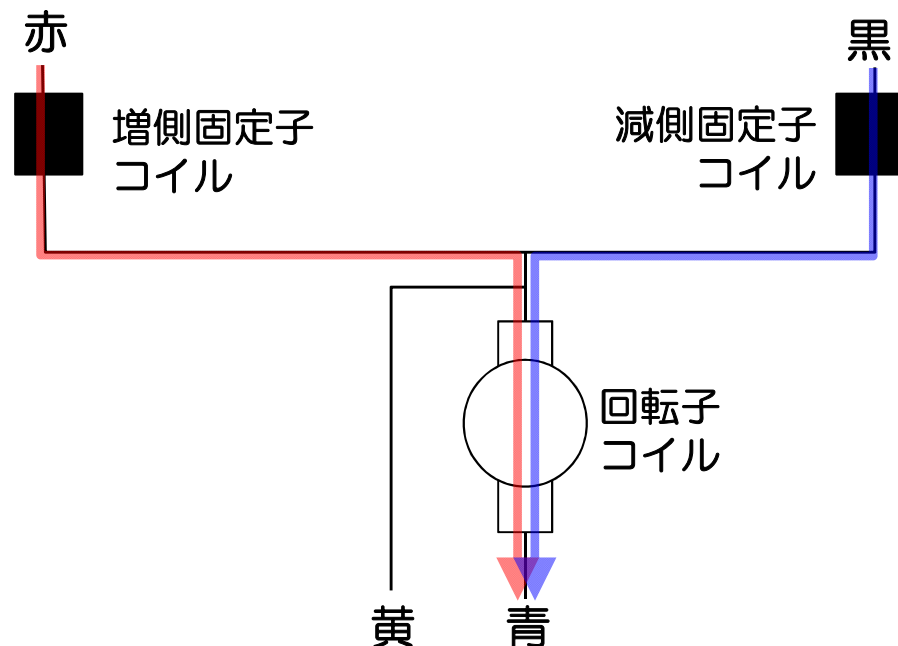
2. 現場調査結果 (2 / 4)

■ ガバナー操作回路図



2. 現場調査結果 (3 / 4)

■ ガバナーモーター単体のコイル抵抗測定を実施し、本格点検時の工場試験データと比較した結果、**増側操作に影響する抵抗値が低くなっていることを確認**した。(H29.11.1)



赤線：増方向の回路
青線：減方向の回路

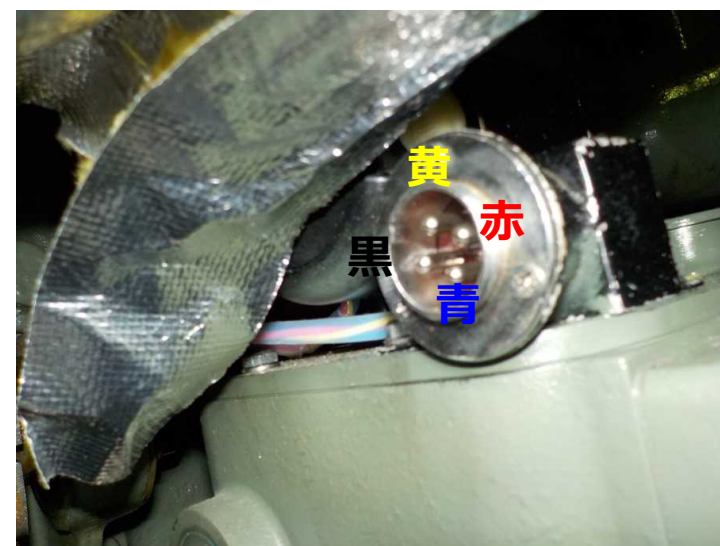


図 ガバナーモーター内部結線図

測定結果

①青-黒 (減方向)	測定値：5 7 2 Ω*	(基準値：4 9 0～5 5 5 Ω)	工場：5 3 6 Ω(H29.7.18測定)
②青-赤 (増方向)	測定値： 1 8 3 Ω*	(基準値：4 9 0～5 5 5 Ω)	工場：5 3 4 Ω(H29.7.18測定)
③黒-赤	測定値： 3 8 9 Ω*	(基準値：6 6 0～7 5 0 Ω)	工場：7 4 8 Ω(H29.7.18測定)
④黒-黄	測定値：3 8 9 Ω*	(基準値：3 3 0～3 7 5 Ω)	工場：3 7 1 Ω(H29.7.18測定)
⑤赤-黄	測定値： 0 Ω*	(基準値：3 3 0～3 7 5 Ω)	工場：3 7 0 Ω(H29.7.18測定)

*：測定値については、20℃換算していないため参考値となります。

2. 現場調査結果（4 / 4）

■ 現場調査結果まとめ

現場調査の結果より、減方向に係わるコイル抵抗に関しては、異常はなくガバナーターの動作状況も良好である。増方向に係わるコイル抵抗に関しては、赤線に係わる線間の抵抗値が低いことから、何らかの異常があり、ガバナーターについても不動作であると考えられる。

ガバナーターに関しては、ガバナーターとの組み合わせ試験等が必要となり、現地では試験装置等がないため、点検後の健全性確認（各試験・単体試験等）が困難であることから、ガバナーター一式を工場へ持出して点検を行った。

3. 工場調査結果（1 / 6）

- ガバナーモーター内部回路の異常が確認されたことから，要因分析に基づき，工場調査を実施した結果，モーター端子台内部におけるリード線取付部に要因があることを確認。

事象	中分類	小分類	推定原因	確認方法	確認結果	評価
ガバナーモーター内部回路の不具合	コネクタ	リード線	各リード線の不良	外観点検 触診	外観点検及び触診の結果は異常なし	○
	ガバナーモーター端子台	端子台内部	端子台内部の抵抗値低下	外観点検 抵抗値測定	外観点検及び抵抗値測定結果は異常なし	○
		端子台リード線取付部	リード線不良及び端子台への取付不良	外観点検 触診 再現性試験	外観点検及び触診の結果は異常なし。 圧着端子部に抵抗値低下の可能性のあることから，再現性試験を行うこととした。その結果，抵抗値低下事象が再現した。	×
	ガバナーモーター本体	各コイル及びモーター内部回路	各巻線間の短絡及び内部回路異常	外観点検 触診 抵抗値測定	外観点検及び触診，抵抗値測定の結果は異常なし	○

○：異常なし ×：要因の可能性あり

3. 工場調査結果 (2 / 6)

■ ガバナーモーター内部回路概略図

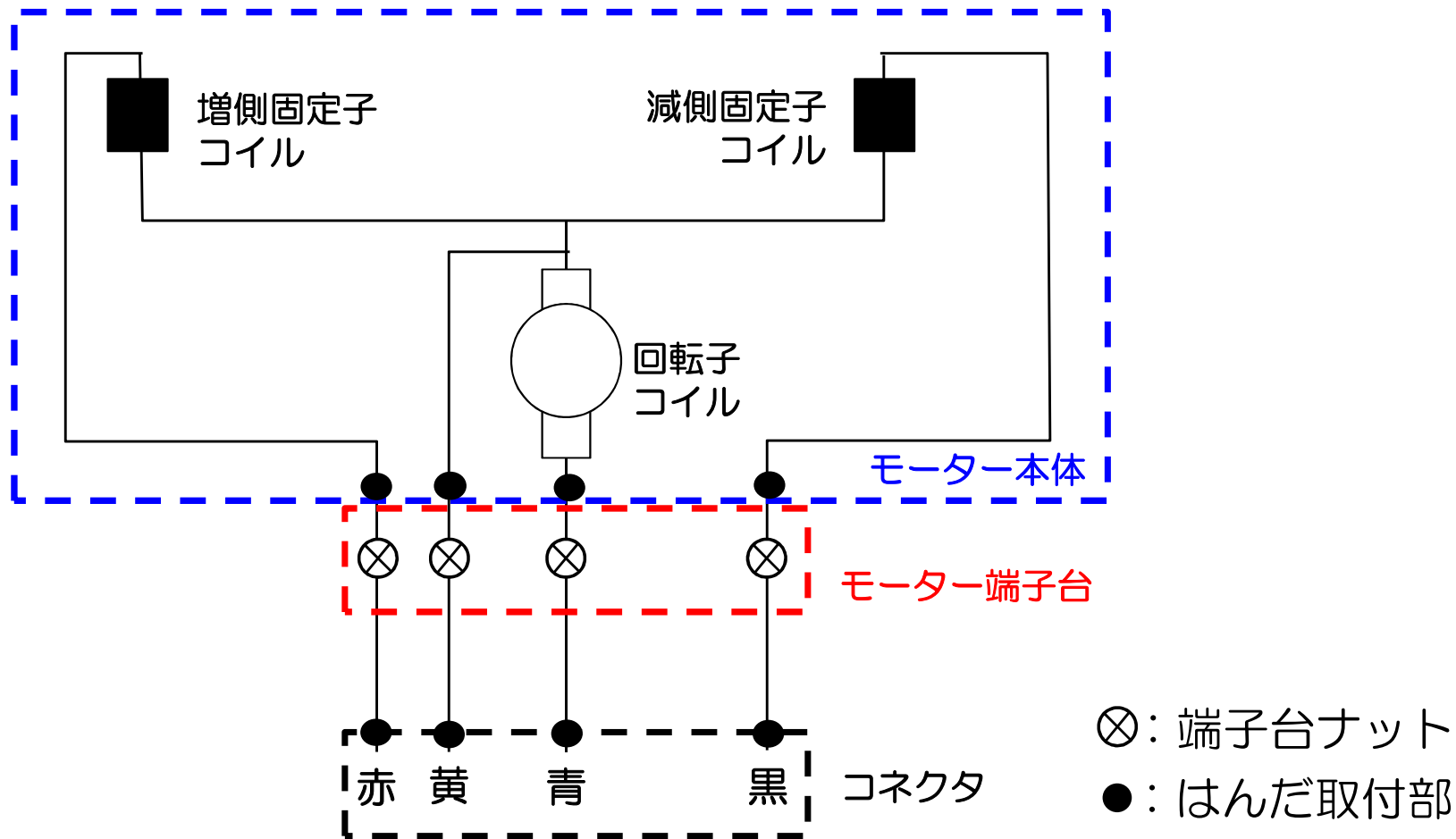


図 ガバナーモーター内部結線図

3. 工場調査結果（3 / 6）

■ 調査結果

ガバナーモーターの点検を行った結果、現地調査で確認された短絡事象が再現したが、カバー取外し後に抵抗値を測定したところ基準値内に復帰したことから、再現性確認試験を行った。各点検結果については、以下に示す。

① 端子台内部確認

外観点検の結果、端子台内部に端子台カバーの破片（バリ）を確認した。しかし、絶縁体であるため、抵抗値低下の原因ではない。

② リード線外観点検

端子取付状態での圧着端子付近に傷や破損は確認されなかった。カバー取外時にリード線へ引っ張り方向の力が加わったため（※1）、念の為、各端子間の抵抗測定を実施した結果、抵抗値低下は再現しなかった。

※1 構造上、端子台カバー取り外し時にリード線へ張力が加わりやすい構造



3. 工場調査結果（4 / 6）

③取付ナット緩み確認

リード線の触診とナットの触診及び目視により緩みがないことを確認した。但し、端子台カバー取外し時、青リード線と圧着端子が切れた状態となった。



端子台

青リード端子の破損状況写真

端子台カバー

3. 工場調査結果（5 / 6）

④ 圧着端子外観点検

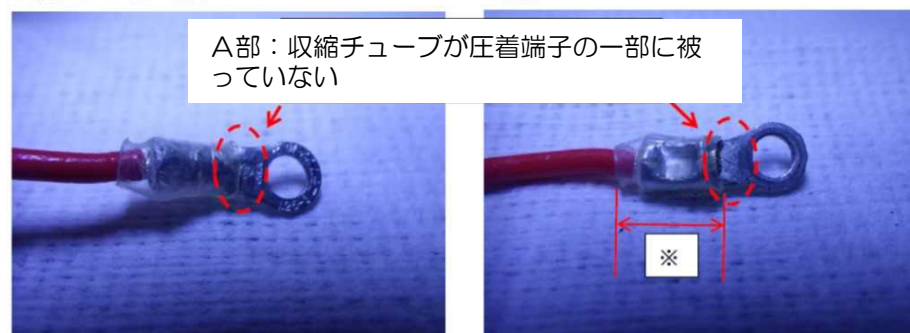
取付ナット緩み確認時に破損した青リード線端子以外の破損は無かった。

なお、赤リード線（A部）については、圧着端子の一部に収縮チューブが被っていない状況が確認された。

黄リード線（B部）については、収縮チューブがリード線の被覆部分に被っておらず、圧着端子と被覆部分の隙間からリード線の素線部分が露出して見える状態であった。

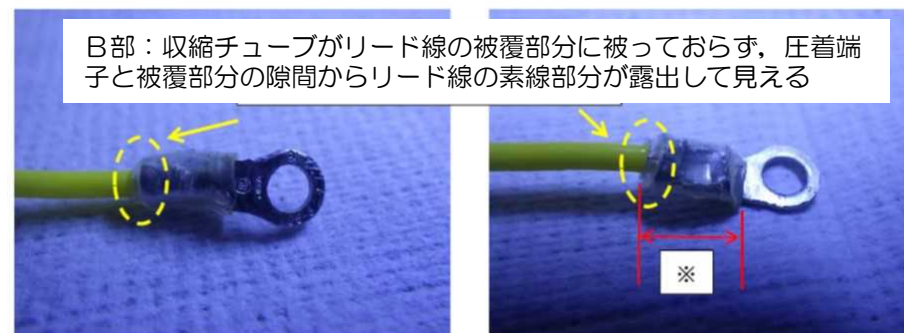
実物赤リード線 背側

腹側



実物黄リード線 背側

腹側



⑤ コネクタ内部確認

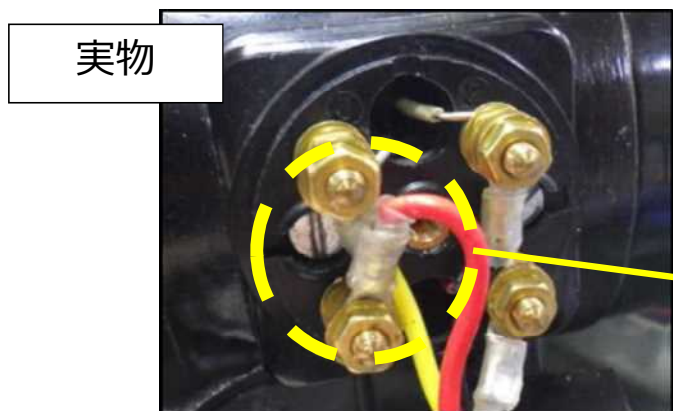
外観点検及びピンセットによる触診で、はんだの外れが無いことを確認した。また、外観点検でリード線の傷や破損、異物のないことを確認した。

※：収縮チューブが被っている範囲

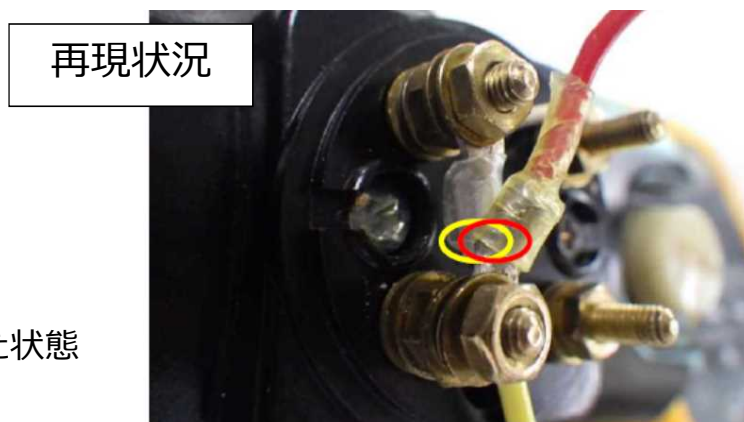
3. 工場調査結果（6 / 6）

⑥再現性試験

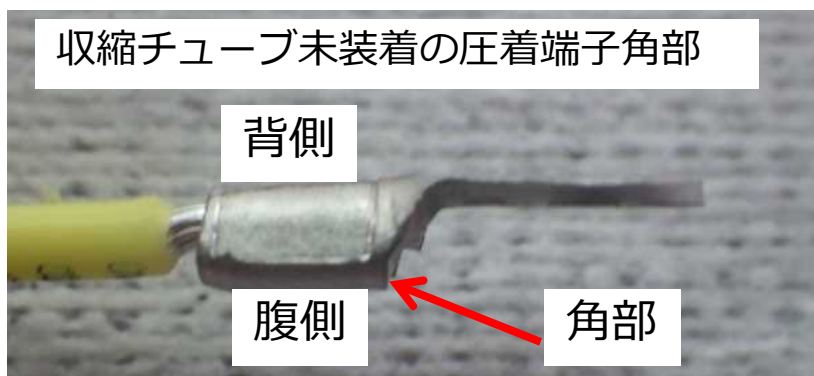
赤リード線の収縮チューブが被っていない圧着端子部分と黄リード線の収縮チューブが被っていない被覆部分を実物と同様に再現し，抵抗測定を行った結果，抵抗値0.1Ωで短絡状態となった。



赤リード線（腹側）と
黄リード線（背側）が
交差するように重なった状態

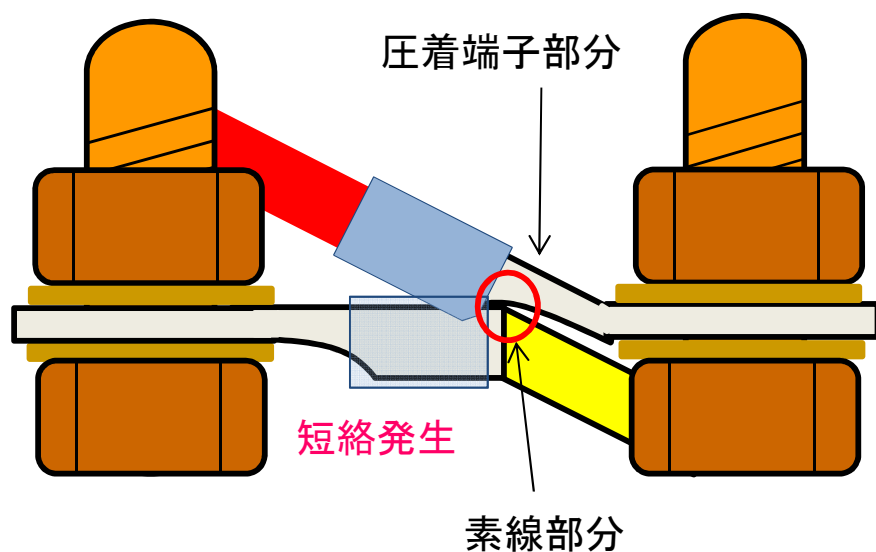


赤リード線の圧着端子（腹側）と黄リード線の圧着端子（背側）を交差させ，赤リード線の圧着端子（腹側）の角部が収縮チューブ越しに黄リード線の圧着端子（背側）に接触するよう端子台に取り付け，収縮チューブの接触部分を押し付けた状態で抵抗測定を行った結果，抵抗値0.1Ωで短絡状態となった。



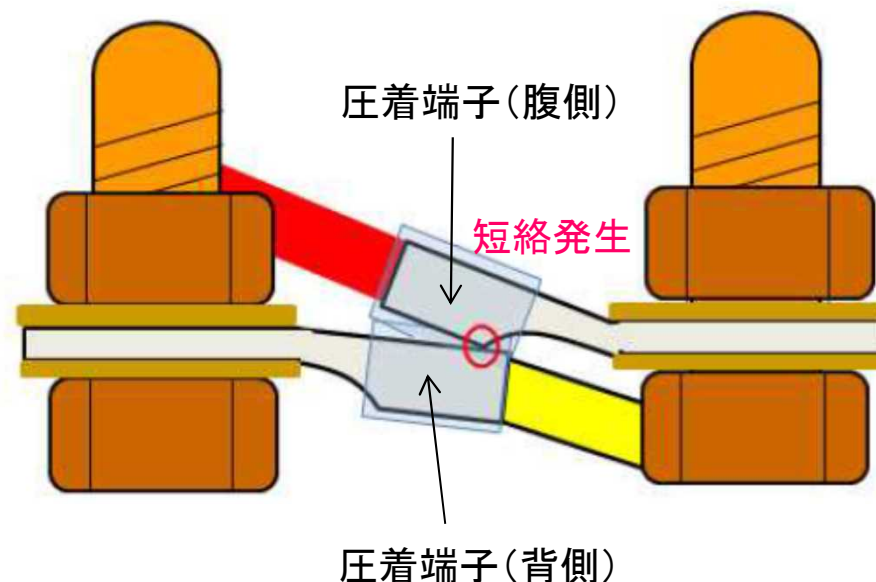
4. 推定原因

本不具合事象は、ガバナーモーター端子台に取り付けている赤リード線の圧着端子（腹側）と黄リード線の圧着端子（背側）の接触箇所に、以下のいずれかの事象により短絡が発生し、ガバナーモーターの増側回路が動作しなかったものと推定する。



【圧着端子とリード線露出部の接触】

赤リード線の収縮チューブが被っていない圧着端子部分と、黄リード線の収縮チューブが被っていない被覆部分と圧着端子の隙間から露出した素線部分が接触



【圧着端子角部の接触】

赤リード線の圧着端子（腹側）の角部が黄リード線の圧着端子（背側）に収縮チューブ越しに押し付けられ、収縮チューブに微細な傷が発生したことで、圧着端子同士が直接接触

5. 再発防止対策

■再発防止対策

今回の事象については、リード線の圧着端子同士が接触して短絡状態になったと推定したことから、再発防止対策としてリード線の端子台への取付方法を以下の通り具体的に定める。

(1) リード線の製作方法

リード線を製作する際には、圧着端子及びリード線の被覆部分を覆うよう、収縮チューブの長さを決めて被せる。

(2) リード線の配線方法

ガバナーモーター端子台にリード線を取付ける際には、圧着端子同士が接触しないよう、全ての圧着端子及びリード線を端子台に対して下方方向に向けて取付ける。

なお、当該ガバナーモーターの対策前後のリード線取付状況は以下の通り。

【対策前】

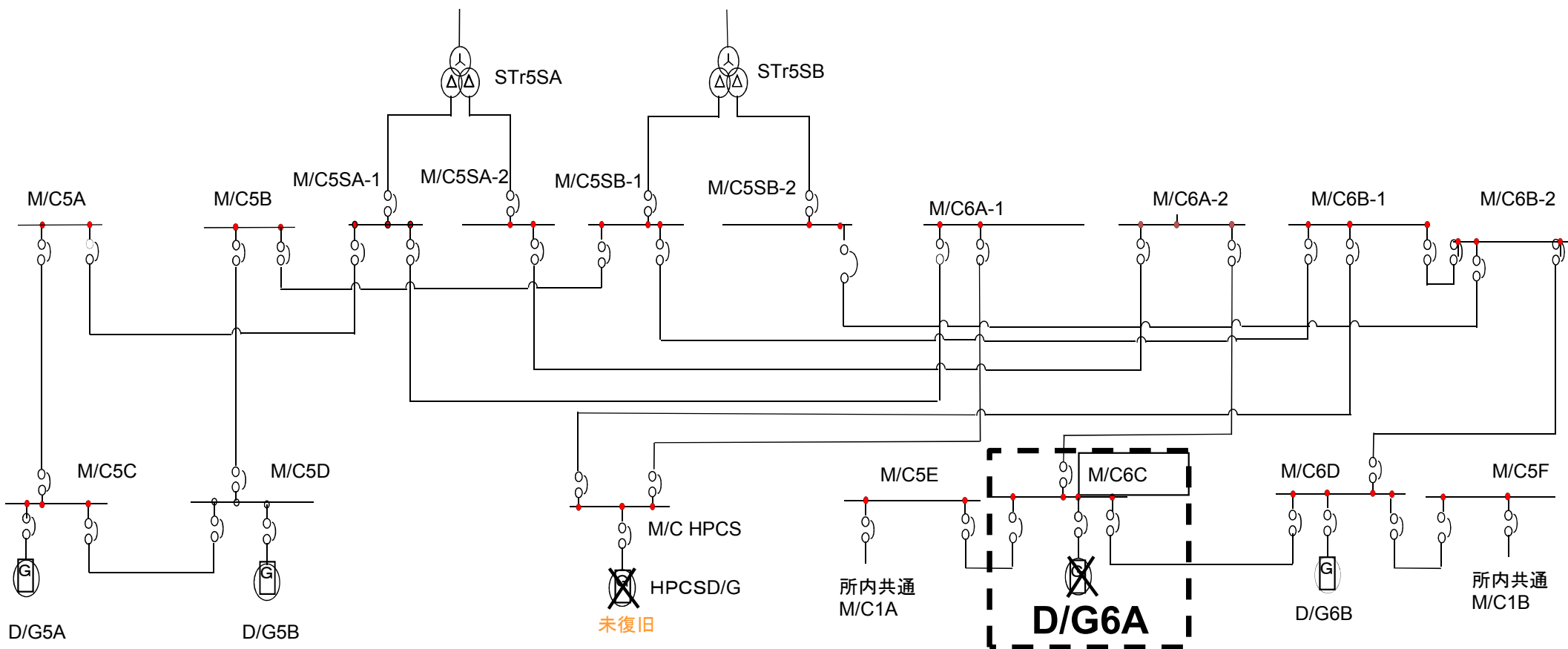


【対策後】



【参考】 D/G6Aの電源供給先(負荷)

■ 5・6号機単線結線図を以下に示す。



■ M/C 6 Cの主な負荷については、以下の通り。

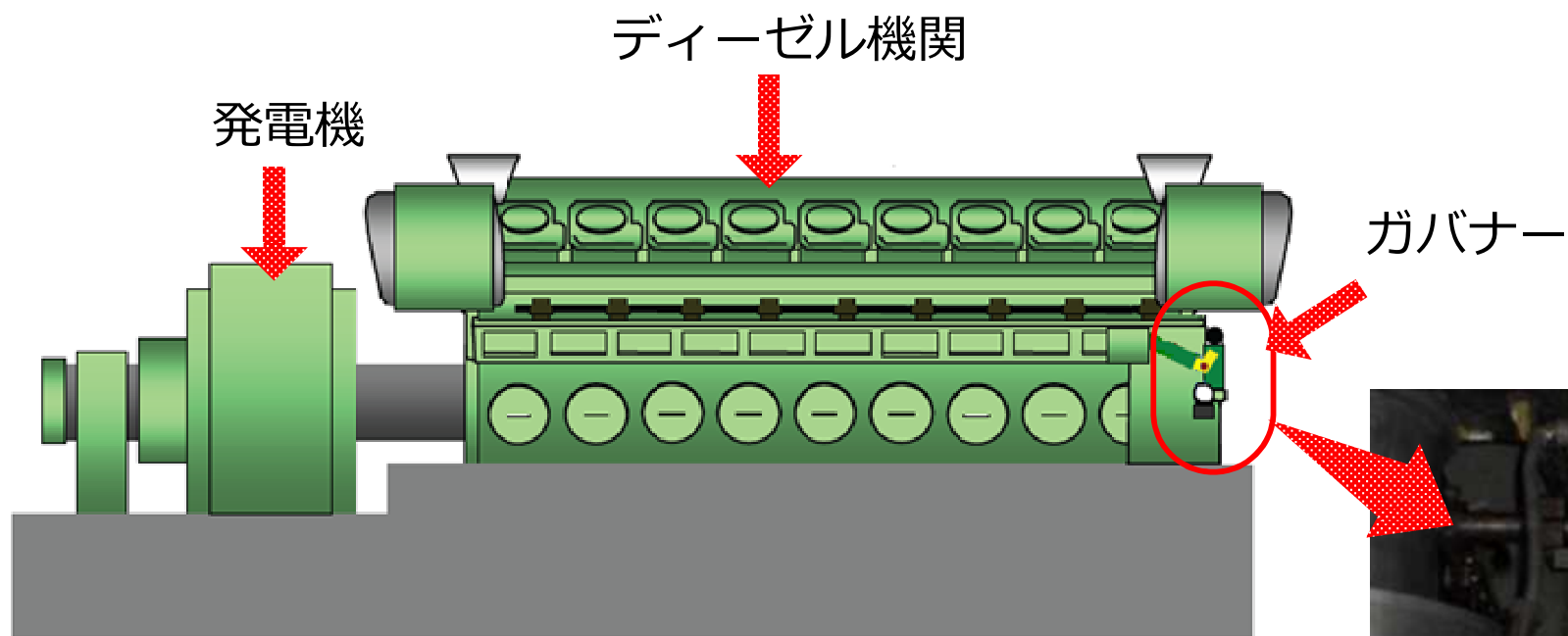
- ・RESIDUAL HEAT REMOVAL SEA WATER PUMP 6A
- ・RESIDUAL HEAT REMOVAL PUMP 6A
- ・RESIDUAL HEAT REMOVAL SEA WATER PUMP 6C
- ・AUXILIARY SEA WATER PUMP 6C
- ・AUXILIARY SEA WATER PUMP 6A
- ・REACT BLDG COOLING WATER PUMP 6A
- ・REACT BLDG COOLING WATER PUMP 6C
- ・TURB BLDG COOLING WATER PUMP 6A
- ・FUEL POOL COOLING PUMP G41-C001A

非常時の使用済燃料プール
冷却に使用

常用の使用済燃料プール
冷却及び各設備の冷却に
使用

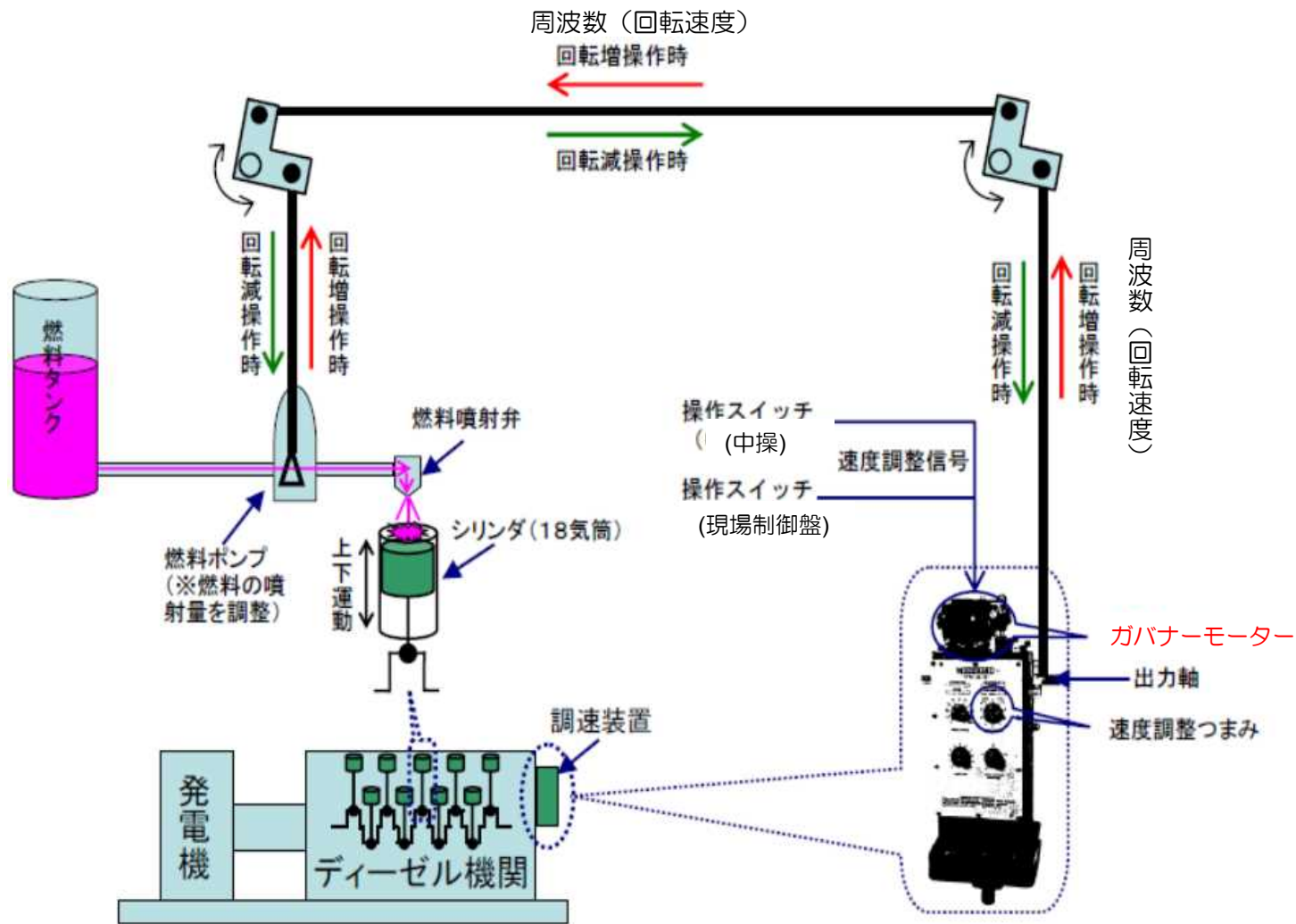
■ 6号機の負荷容量について

現在、6号機として予想される最大使用負荷容量については、常用の負荷にRHR系の1系列を加えた約4,300kVAであり、D/G 1台(6,875kVA)で十分補える負荷容量である。



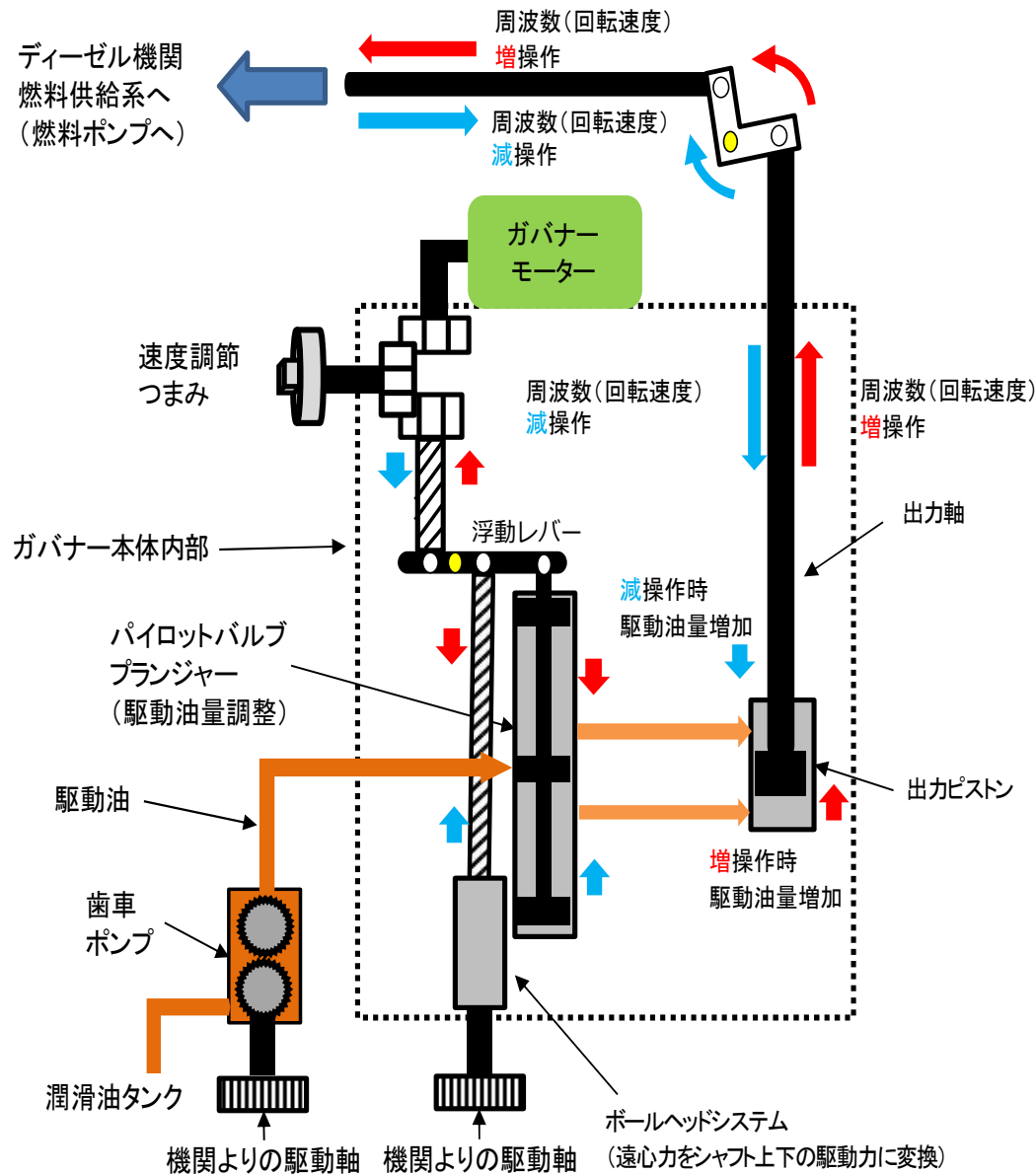
D/G6A 概略図

【参考】ガバナーの動作原理



D/G 6Aのガバナー制御系 概略図

【参考】ガバナーの動作原理



＜ガバナーによる速度調整方法＞

1. ガバナーモーターによる増減操作
(中操及び現場制御盤ガバナーCS)
2. 速度調整つまみによる増減操作
(現場ガバナー)

上記に示す操作により、ガバナー内部のパイロットバルブプランジャーが上下に動作する。


それにより、駆動油量が変化し出力ピストンが動作する。

出力軸の動作により、リンク機構で燃料ポンプの噴射量を調整する。

燃料の噴射量を調整することにより、D/Gの周波数（回転速度）を調整する。

■ 経緯

- 2013年01月 D/G6Aガバナー本格点検に併せてモーター新規交換実施。
モーターは製造メーカーからの購入品を取付け、モーターからコネクタまでの配線を新規施工（リード線，圧着端子，配線施工とコネクタ側のはんだ付け）
なお、コネクタは既設品を継続使用
ガバナー本体との組み合わせによる動作試験（増減操作）は正常に動作

この間での定例試験及び計画点検後の試運転は異常なし。
- 
- 2017年07月 D/G6Aガバナー本格点検（ガバナーモーター取替後の初回点検）
ガバナー本体との組み合わせによる動作試験（増減操作）は正常に動作
- 2017年08月 ガバナー本格点検後の現地取付
- 2017年10月 D/G6A 点検終了に伴い試運転実施
試運転においても正常に動作（並列操作・負荷上昇／下降操作に異常なし）
- 2017年10月 定例試験時，起動後の周波数上昇操作が不能となった。