

ミャンマー国

電力・エネルギー省

ミャンマー国

**IoT・AI等の最新技術を用いた発電設備の  
維持管理に係る情報収集・確認調査  
報告書**

**【要約版】**

令和元年 9 月

(2019 年 9 月)

独立行政法人

国際協力機構 (JICA)

関西電力株式会社

三菱日立パワーシステムズ株式会社

## 調査概要(要旨)

### 1. 調査の背景、目的、スケジュール

本章は今回の調査目的、調査範囲、対象プラント、及び、実際の調査スケジュールを記載する。概要として下記の通り。

項目	内容
目的	5か所の火力発電所（ティラワ、ローガ、アーロン、イワマ、タケタの各発電所）および1か所の水力発電所（イェイワ発電所）の運営・維持管理の現状を調査し、問題点を把握したうえで、IoTやAI等の最新技術の活用や、特に本邦中小企業が有する運営・維持管理に関連する技術の導入可能性を踏まえつつ、運用、設備、組織体制の観点から発電設備保全の向上に係る検討・提言を行う。
対象地域	ヤンゴン（火力発電所の所在地） ネピドー（電力・エネルギー省発電公社の本部の所在地） マンダレー（水力発電所の所在地）
業務範囲	(1) 発電所のO&M体制に係る一般情報 (2) 各発電所の個別訪問及びO&M体制 (3) IoTやAI等の最新技術適用可能性検討 (4) O&Mの改善、及びJICAによる協力可能性の提案
調査スケジュール	第1回現地調査：2018.8.15～2018.9.12 第2回現地調査：2018.11.25～2018.12.20 第3回現地調査：2019.3.10～2019.3.16 第4回現地調査：2019.6.10～2019.6.15

表1 調査目的、及び実績

### 2. 発電所の運転維持・管理体制、調査結果 【一般事項調査概要】

本章はミ国発電所の維持・運営に関わる周辺環境の整備状況についての実態調査結果を示す。その結果、ミ国では現在、発電所運営の為に法令整備が進められているが、現時点では、策定が完了しておらず、法令等の有用性は確認できなかった。また、社員の技術習得・技能向上についても水力発電所の教育は確認できたが、火力発電所の教育においては限定的であることが確認できた。上記の結果より、発電所を取り巻く環境の整備も合わせて実施していく必要があることが確認できた。また、発電所の運営維持に関わる予算取得についても承認プロセスが多岐にわたり、運営維持に関する予算取得の難しさも確認する事が出来た。

### 3. 発電所の運転維持・管理体制、調査結果 【発電所毎調査概要】

本章は個別発電所の維持・運営の実態調査結果を示す。2章で記載した通り、火力発電所を取り巻く環境としての法令等の整備が実施できていない為、発電所でも運転・維持管理に関するマニュアル等は整備されていなかった。そのため、運転記録・点検記録等は手書きで記録されているが、活用できるような整備は実施されておらず、発電所員が発電所状況を把握・分析・活用する事が出来ておらず、発電所の長期運用停止、計画外停止が頻発している事が確認できた(図1)。また、日本やASEANと比較しても発電所の計画外停止の頻度が非常に多い事、及び、調査した火力発電所760MW相当の内、実に300MW以上が、O&Mを起因として長期運用停止している事を示す。

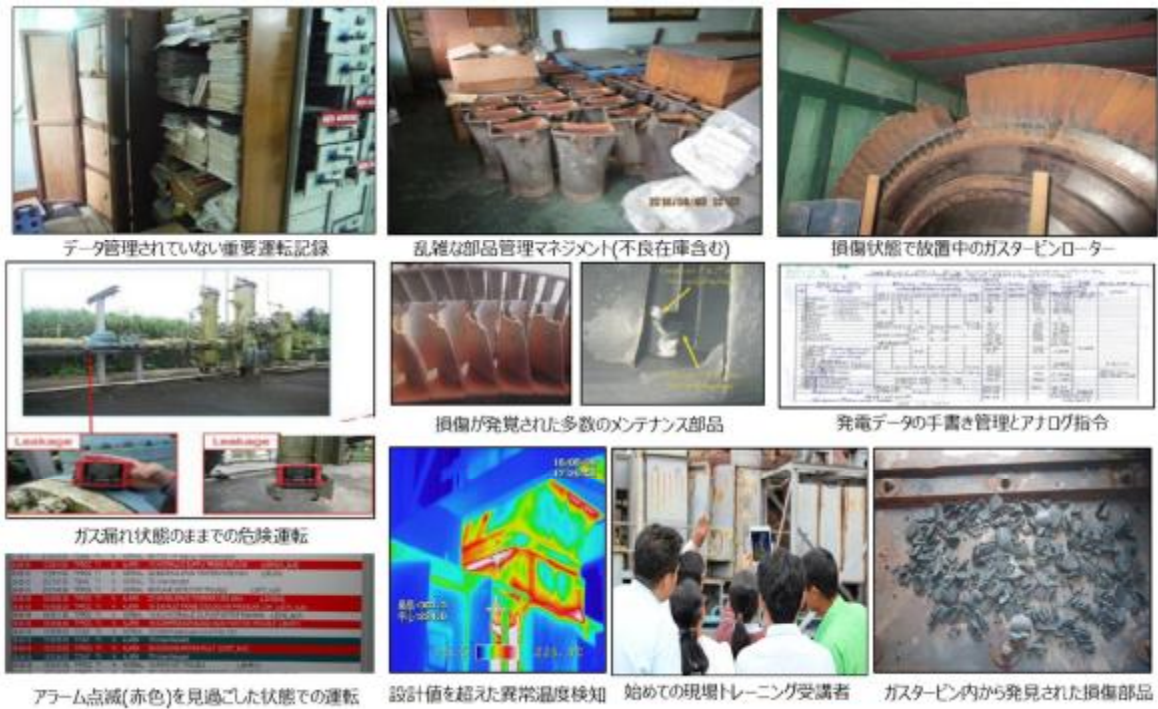


図1 現地調査結果の概要

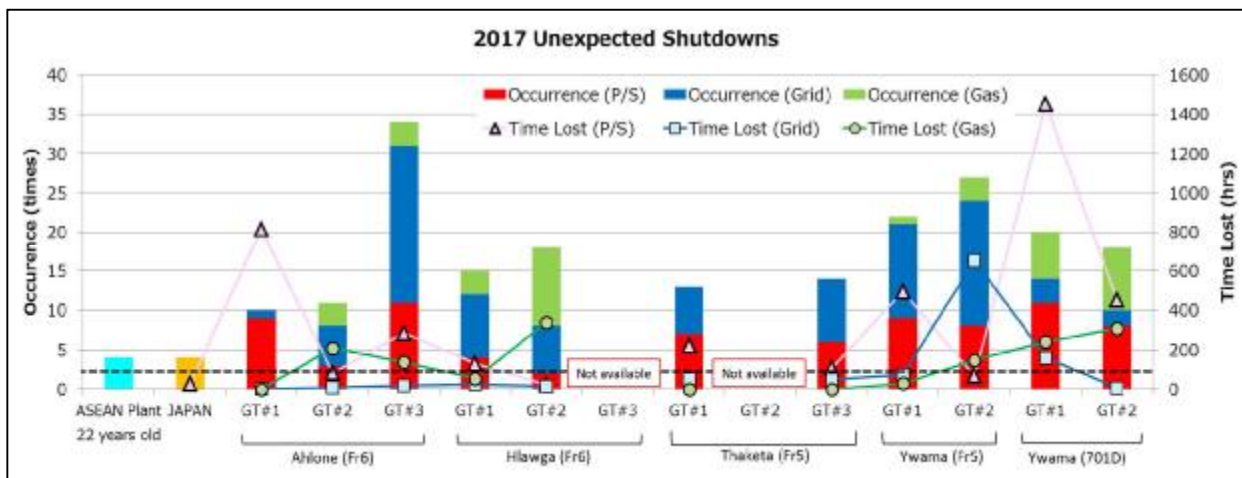


図2 日本とASEANを比較した場合の計画外停止の多さ

Plant	Type	Plant Configuration	Original Capacity	Latest Capacity	Δ (Delta)	Main Reason
<b>Yeywa</b>	Hydro Power Plant		790MW	N/A	N/A	✓ No Issue
<b>Ywama</b>	Fr5	2GT CHP	37MW	37MW	153MW	✓ <b>H-25 1on1 Was Stopped</b> Due to Heavy Damage of Turbine Buckets <b>From 2014</b> .
	H-25	1on1 C/C	33MW	0MW		✓ <b>701D Was Stopped</b> Due to Heavy Damage of Compressor Bucket <b>From July 2018</b> .
	701D	2GT S/C	240MW	120MW		
<b>Thaketa</b>	Fr5	3GT S/C	57MW(GT) 35MW(ST)	38MW(GT) 0MW(ST)	54MW	✓ <b>GT#2 Was Stopped From 2015</b> Due to IGV Damage. ✓ <b>ST Was Stopped From 2013</b> Due to High Vibration.
<b>Hlawga</b>	Fr6	3on1 C/C	100MW(GT) 54MW(ST)	67MW(GT) 36MW(ST)	51MW	✓ <b>GT#3 Was Stopped From 2013</b> Due to GEN Ground Fault Damage.
<b>Ahlon</b>	Fr6	3on1 C/C	100MW(GT) 54MW(ST)	100MW(GT) 0MW	54MW	✓ <b>ST Was Stopped From Mar. 2018</b> Due to HRSG Tube Leakage.
<b>Thilawa</b>	H-25	2GT S/C	50MW	50MW	0MW	✓ No Issue
<b>Total (Except Hydro)</b>			<b>760MW</b>	<b>448MW</b>	<b>312MW</b>	

図3 EPGE保有発電所の定格発電能力(760MW)に対し、実に312MW程度がO&M起因で喪失

水力発電所では有効な貯水池の運用ができていないことが確認された。無効放流を減じるためのダム水位の効率的な運用が課題である。加えて、雨季に洪水吐からの放流水の飛沫が開閉所にかかることにより、遮断器や断路器などの屋外設備が汚損していることも確認された。

2章、3章のサマリーとして、ミ国O&Mの現状の課題を纏める。問題点をソフト、ハード、デジタルとカテゴリ分けした上で、O&M改良を包括的に進めていく事が求められると考察した。

	O&Mカテゴリ	事実確認結果	改良の方向性	改良カテゴリ
1	法令・規則・マニュアル整備	✓ ルール、レギュレーション、マニュアルが未整備。 ✓ <b>O&amp;M改善のPDCA管理無く、再発事故多発。</b>	法令・マニュアル整備教育、システム化	①ソフト
2	人材育成管理	✓ 体系的な教育がほぼ実施されていない。(特に各発電所)	教育、システム化	①ソフト
3	品質安全管理	✓ 至るところで <b>ガス漏れが発生しており非常に危険</b> ✓ <b>消防設備などの安全管理システムが機能していない。</b>	法令・マニュアル整備教育、設備追設	①ソフト ②ハード
4	部品調達管理	✓ <b>綿密な検討なくサードパーティ製品を導入している。</b> ✓ <b>部品の購買プロセスが長期化・複雑化している。</b>	長期メンテナンス契約 法令・マニュアル整備	①ソフト
5	文書・記録管理	✓ 発電記録、ガス量など <b>重要指標管理を手書きで実施</b>	デジタル化	③デジタル
6	運転・発電管理	✓ 中央操作室で <b>アラームが鳴り続けている対処方法不知。</b> ✓ 運用過程における <b>性能劣化が非常に大きい(燃料ロス)。</b> ✓ <b>O&amp;M不良により既設EPGE火力の300MWが非稼働。</b>	法令・マニュアル整備システム化、教育 長期メンテナンス契約	①ソフト ②ハード ③デジタル
7	保守計画管理	✓ EPGE火力5発電所で <b>計567回/約2年の非計画停止。</b> ✓ 定期的な定期点検計画、定常費用、実績記録が無い。	法令・マニュアル整備システム化、長期メンテナンス契約	①ソフト ②ハード ③デジタル
8	予備品管理	✓ <b>多数の不良在庫存在し、乱雑に管理。</b> ✓ <b>使える予備品のストック無く、他発電所の使いまわし</b>	法令・マニュアル整備システム化、教育	①ソフト
9	事故・異常時対応	✓ <b>QC教育がなされておらず、事故・異常不具合発生時に原因究明と適切な対策立案がなされていない。</b> ✓ <b>事故記録が管理・蓄積されていない</b>	法令・マニュアル整備システム化、デジタル化、教育	①ソフト ③デジタル
10	環境管理	✓ <b>環境値管理せず、CO2排出総量や騒音値も不明</b> ✓ <b>燃料計が設置されておらず、そもそも正しい燃費が不明。</b>	法令・マニュアル整備デジタル化	①ソフト ③デジタル
11	入出門管理	✓ <b>セキュリティ対策が不十分</b>	システム化	①ソフト
12	設備補修	✓ <b>設備補修が充分で無く、危険な機器状態箇所が多数</b>	リハビリ、設備追設	②ハード

図4 現地調査結果サマリー

#### 4. IoT や AI 等の最新技術の適用可能性検討

本章はミ国発電所の運営・維持管理において、IoT、AI を活用する事の有用性を調査した結果を示す。調査期間中に、本邦が持つ IoT・AI パイロット機器を設置・試運用する事での有用性の調査を実施した。試運用の概要は下記の通り。

##### 【IoT・AI パイロット機器試運用概要】

- (1) 設置場所 : Thilawa 発電所 (25MW X 2units)
- (2) IoT/AI 機器試運用期間 : 2019年1月～2019年6月 (約4か月間)
- (3) IoT/AI パイロット機器機能 : GT 異常予兆、KPI 可視化、運転員トラブル対応支援の3つ

試運用の結果、発電所員が積極的に IoT・AI 機器にアクセスし、発電所の運転状況把握に努めている事が確認できた。(参考までに IoT・AI 機器へのアクセス件数(2019年3月～5月)を示す。)



実際に利用している EPGE 発電所員への聞き取り聴取も実施しており、運転状況のトレンド監視を実施している状況、IoT・AI 機器に対する要望等を把握でき、IoT・AI 機器を展開する事で発電所の運営・維持管理を助長する事が可能であることが確認でき、一定の有用性を確認する事が出来た。

#### 5. 運転維持・管理の課題と改善方法

2章、3章、4章の現地調査結果を踏まえて、今後の課題と改善方法を本章に示した。調査結果より、現状の運転維持・管理の課題を解決するには、大きく分けて、①デジタル化、②法令・マニュアル整備、③教育、④システム化、⑤LTSA、⑥リハビリ、⑦設備追設と多角的な対応が必要である。ミ国発電所の運転維持・管理が EPGE によって自律的に改善される事を目指し、本邦技術を駆使した改善プログラムの立案を提唱する。(概要は下記表の通り)

表2 改善サポートプログラムの分類

サポートプログラム	改善提案項目
Solution A (デジタルO&M改良検討)	① デジタル化
Solution B (ソフトO&M改良検討)	② 法令・マニュアル整備 ③教育 ④システム化
Solution C (ハードO&M改良検討)	⑤LTSA ⑥リハビリ ⑦設備追設

※各種の具体的な提案事項に関しては本文を参照頂く事とし、要約からは割愛する。

## 6. 本邦技術（中小企業の有する技術）の活用

本章では、発電設備の維持管理に関連する本邦技術(中小企業の有する技術)を確認すると共に、ミ国発電所への適用の有用性を確認した結果を示す。第2回目現地調査時に、(1) 電子帳票管理、(2)超音波ガス検知器、(3) ポータブル機器(サーモカメラ)のデモを実施し、有用性を確認した。3章の調査結果でも示した通り、発電所の運転・点検記録が手書きで作成され活用できないアナログデータになっている事から、デジタル機器による記録整理が有用であると考えられる。

## 7. JICAによる協力可能性の検討

本章では、5章の改善案を具現化する為に、JICAの協力可能性について示す。今回の調査実施時に実施したEPGEへの報告した際に、EPGEとしてもO&M改善に向けて前向きに検討を進めていくことが確認できたが、実際の提案にあたっては、下記表のようなサポートプログラムを構築すべきであると考えられる。下記表は、5章で述べたソリューションA、B、Cが各々どの発電所に適用すべきかを整理した素案のサマリーである。

		アロン 発電所	ローガ 発電所	タクタ 発電所	イワマ 発電所	ティラウ 発電所	EPGE 本部	考えられる 実現可能性
<b>Solution A デジタルO&amp;M改良検討</b>								
	デジタルソリューション (含：中小企業技術の活用)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	他プロジェクト 実施時に包含
<b>Solution B ソフトO&amp;M改良検討</b>								
	PDCA O&M管理支援						✓	JICA技術 プロジェクト 等
	O&Mガイドライン・ルール作成支援						✓	
	資産管理改善支援						✓	
	品質管理等、マニュアル作成支援						✓	
	運転員サポート支援			✓				
	教育支援(本邦招聘)		✓					
<b>Solution C ハードO&amp;M改良検討</b>								
短期	損傷箇所復旧のためのメンテナンス、 リハビリテーション	✓	計画済	計画済	✓			JICA円借款/ 海外派遣員等
中長期	Rehabilitation Program 長期メンテナンス契約 O&Mサービス事業 等	✓	計画済	計画済	✓	✓		

図6 各ソリューション毎の適用候補先整理サマリー

以下図7に各Solutionに含まれる提案の具体的なイメージを示す。一部に新規性のある構想を含むが、これら具体的提案の実施に当たっては、関係者とのより詳細な協議が必要であると考えられる。

現地5発電所調査を踏まえ、ソフト・ハード・デジタルの3つの切り口からO&M改良提案を考案。			
	A. デジタルO&M改良提案(イメージ)	B. ソフトO&M改良提案(イメージ)	C. ハードO&M改良提案(イメージ)
顧客価値	AI/IoT最新技術を用いたO&M事業の最適化・効率化サポート 【O&Mハードとソフトをつなぐ場】	電力庁のO&Mガイドライン策定支援・将来を担うEPGE本部技術者育成 【O&M理論注入の場】	既設発電所のO&Mインフラの整備 将来を担うEPGE現場エンジニア育成 【O&M実践体験の場】
ミャンマー国・EPGEへの提案の方向性	パイロット導入実績を活用し、EPGEの本部や他発電所への導入展開を検討  ミャンマー国におけるデジタルO&Mインフラ整備に向けた改良展開 	ルール、マニュアル整備、体系的な教育 キャパシティビルディング等策定支援 	既設発電所長期メンテナンス契約やリハビリ込みO&M一括請負事業等を通じた自律型O&Mへのサポート 
支援案	他のインフラプロジェクトとパッケージ提案等を検討	JICA 技術協カプロジェクト等	JICA 円借款/海外投融資等
規模	数億円規模	数億円規模	数十億円規模

図7 各ソリューションの具体イメージ (例)

尚、各種ソリューションA、B、Cの具体的な内容については本文を参照する事とし、要約からは割愛する。

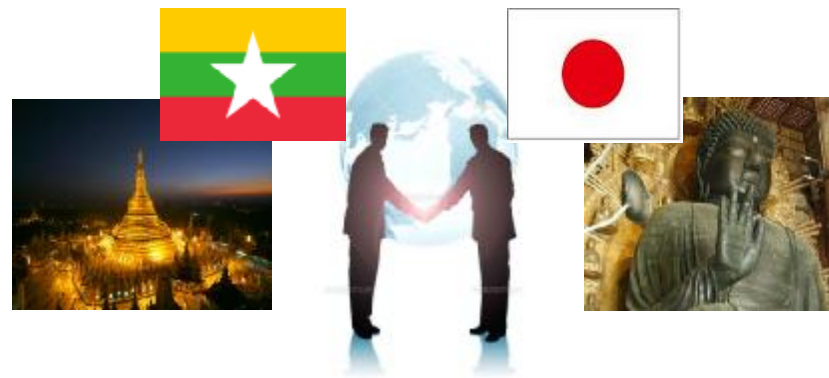
## 8. 結論と提言

ミ国の火力発電所のO&Mの実情は、運転・維持管理の体制(仕組み)が構築されておらず、また、周辺環境の整備、人材育成にも着手できていない状況が続いている。結果として、火力発電所の運営が不十分なことによる、発電所長期停止・計画外停止が発生、電力確保の為に早期復旧による運営・維持管理予算逼迫、発電所長期停止・計画外停止という負のサイクルが回っており、今回の報告書で提言したソリューションA(デジタルパッケージ)、ソリューションB(ソフトインフラ整備)、ソリューションC(ハードインフラ整備)による改善が有効であると考えられる。水力発電所では、雨季にダムの水位が満水に達し、オーバーフローしている。降雨量・流入量予測システムを導入して、ダムを有効活用することが望ましい。

以上

有用性説明資料  
(和文)

# ミャンマー国 IoT・AI等の最新技術を用いた 発電設備の維持管理に係る情報収集・確認調査



2019年9月

関西電力株式会社

三菱日立パワーシステムズ株式会社



# 1. 三国O&Mの調査結果

- I EPGEが所有する既設火力（アロン/ローガ/タケタ/イワマ/ティラワ）を訪問した結果、以下、結果が得られた。  
 I ソフト面、ハード面、デジタル面と課題を分解した上で、包括的なO&M改善プログラムの適用が必要。

	O&Mカテゴリ	事実確認結果	添付	改良の方向性	改良カテゴリ
1	法令・規則・マニュアル整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>ルール、レギュレーション、マニュアルが未整備。</li> <li><b>O&amp;M改善のPDCA管理無く、再発事故多発。</b></li> </ul>	-	法令・マニュアル整備教育、システム化	①ソフト
2	人材育成管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>体系的な教育がほぼ実施されていない。(特に各発電所)</li> </ul>	①	教育、システム化	①ソフト
3	品質安全管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>至るところで<b>ガス漏れが発生しており非常に危険</b></li> <li><b>消防設備</b>などの安全管理システムが<b>機能していない</b>。</li> </ul>	②	法令・マニュアル整備教育、設備追設	①ソフト ②ハード
4	部品調達管理	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>綿密な検討なくサードパーティ製品を導入している。</b></li> <li>部品の<b>購買プロセスが長期化・複雑化</b>している。</li> </ul>	-	長期メンテナンス契約 法令・マニュアル整備	①ソフト
5	文書・記録管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電記録、ガス量など<b>重要指標管理を手書き</b>で実施</li> </ul>	③	デジタル化	③デジタル
6	運転・発電管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>中央操作室で<b>アラームが鳴り続けている</b>対処方法不知。</li> <li>運用過程における<b>性能劣化が非常に大きい</b>(燃料ロス)。</li> <li><b>O&amp;M不良により既設EPGE火力の300MWが非稼働</b>。</li> </ul>	④	法令・マニュアル整備システム化、教育 長期メンテナンス契約	①ソフト ②ハード ③デジタル
7	保守計画管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>EPGE火力5発電所で<b>計567回/約2年の計画外停止</b>。</li> <li>定期的な定期点検計画、定常費用、実績記録が無い。</li> </ul>	⑤	法令・マニュアル整備システム化、長期メンテナンス契約	①ソフト ②ハード ③デジタル
8	予備品管理	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>多数の不良在庫存在</b>し、乱雑に管理。</li> <li><b>使える予備品のストック無く</b>、他発電所の使いまわし</li> </ul>	⑥	法令・マニュアル整備システム化、教育	①ソフト
9	事故・異常時対応	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>QC教育がなされておらず</b>、事故・異常不具合発生時に原因究明と適切な対策立案がなされていない。</li> <li><b>事故記録が管理・蓄積されていない</b></li> </ul>	-	法令・マニュアル整備システム化、デジタル化、教育	①ソフト ③デジタル
10	環境管理	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>環境値管理せず</b>、CO2排出総量や騒音量も不明</li> <li>燃料計が設置されておらず、<b>そもそも正しい燃費が不明</b>。</li> </ul>	-	法令・マニュアル整備デジタル化	①ソフト ③デジタル
11	入出門管理	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>セキュリティ対策が不十分</b></li> </ul>	⑦	システム化	①ソフト
12	設備補修	<ul style="list-style-type: none"> <li>設備補修が充分で無く、<b>危険な機器状態個所が多数</b></li> </ul>	-	リハビリ、設備追設	②ハード

## 2. ミャンマー現地での実地確認結果：

1 ミャンマー現地での実地確認結果は、次の通り。O&M分野についての知識・ノウハウ・予算が不足している事もあり、これまで我流でO&Mを進めてきた結果、以下の状況につながっているとも推察される。



データ管理されていない重要運転記録



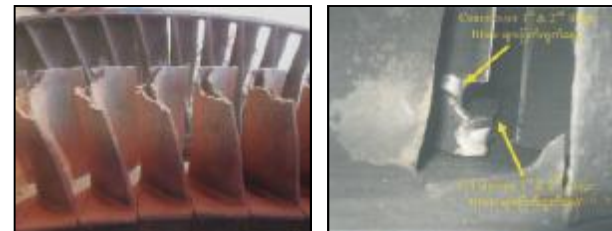
乱雑な部品管理マネジメント(不良在庫含む)



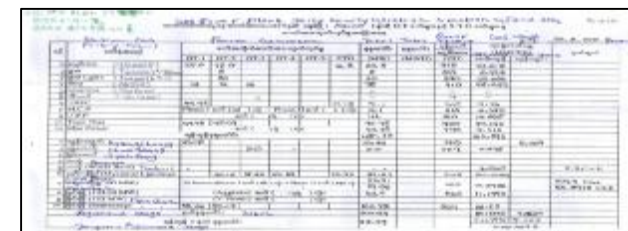
損傷状態で放置中のガスタービンローター



ガス漏れ状態のままでの危険運転



損傷が発覚された多数のメンテナンス部品



発電データの手書き管理とアナログ指令



アラーム点滅(赤色)を見過ごした状態での運転



設計値を超えた異常温度検知



初めての現場トレーニング受講者

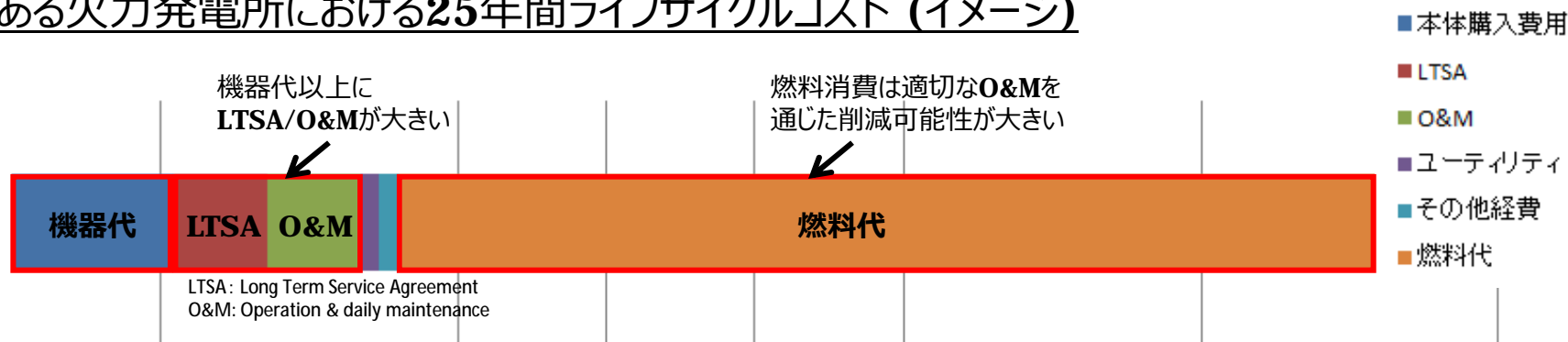


ガスタービン内から発見された損傷部品

### 3. 火力発電セクターにおけるO&M分野の重要性

- Ⅰ 新規発電所の開発に焦点が当たりがちだが、火力発電ビジネスではO&Mにおける効果が非常に大きい。
- Ⅰ これが、世界で安定的な電力供給を求める、電力会社各社が“O&M改良”を重要視する所以でもある。

#### 1. ある火力発電所における25年間ライフサイクルコスト (イメージ)



#### 2. 仮に1%でもO&Mが改良した事によるEPGEへの年間効果 (イメージ)

**O&Mを通じて稼働率1%改善した場合：**

2,312.8GWh (ミャンマーMOEE既設火力 2016-17) × 1%

約 **23** GWh/年の電力量効果

**O&Mを通じて発電効率1%改善した場合：**

2,312.8GWh (ミャンマーMOEE既設火力 2016-17) × Average Efficiency (i.e. 25%→26%) × USD 7.5/mmBTU

USD約 **9** Mil/年の燃費削減効果

**O&Mを通じて出力ロス1%改善した場合：**

992MW<ミャンマーEPGE既設火力発電想定> × 1%

約 **10** MWの電力供給改善効果

※ 上記数値はあくまでイメージであり、個別具体的に検証していく必要がある

## 4. O&M分野へのAI/IoT技術適用による有用性：

- Ⅰ AI/IoT活用したパイロット機器を試験導入。**EPGE**も高い使用頻度を確認(計**477**人回アクセス/2か月)。
- Ⅰ **EPGE**総裁からも、このようなデジタルO&M支援ツールの採用について高い関心が示された。

トライアル実証アプリ	概要
GT異常予兆検知アプリ	発電所Tripにつながる重大トラブルの異常予兆を検知し、稼働率向上と不測のメンテナンス費用の最小化に貢献する。また、その原因を推定するとともに、推定原因に対応するアクションを提示することで、迅速な対応を支援する。
KPI 可視化アプリ	プラントの主要な運転パラメータや管理指標(熱効率や出力、計画外停止等)を可視化する。これにより、最適な運転保守の実現と、 <b>EPGE</b> の発電事業の経営を支援する。
運転員サポートアプリ	アラーム発信時の取扱説明書の関連情報を適時にオンライン表示することにより、その対応の迅速化支援を行う。さらに、 <b>EPGE</b> によるユニット固有の情報の記録・蓄積も可能となっており、情報共有や技術伝承にも貢献する。



1. 熱心に説明会を聞き入るEPGE参加者



2. 実際のデータを用いたアプリのデモンストレーション



3. EPGE参加者のパソコンで運転時間管理分析を実施



4. EPGE参加者による使用体験



# 5. 今後の方向性と提案：

- Ⅰ 今後は、デジタル、ソフト、ハードとカテゴリを分類しながら包括的にO&M改良提案を進めていくべきだと考察。
- Ⅰ ミ国発電設備の安定稼働の為に、適切なO&Mを自律して実行できる道筋を作っていく支援が重要。

	A. デジタルO&Mインフラパッケージ	B. ソフトO&Mインフラパッケージ	C. ハードO&Mインフラパッケージ
顧客価値	<p>AI/IoT最新技術を用いたO&amp;M事業の最適化・効率化サポート</p> <p><b>【O&amp;Mハードとソフトをつなぐ場】</b></p>	<p>電力庁のO&amp;Mガイドライン策定支援・将来を担うEPGE本部技術者育成</p> <p><b>【O&amp;M理論注入の場】</b></p>	<p>既設発電所のO&amp;Mインフラの整備 将来を担うEPGE現場エンジニア育成</p> <p><b>【O&amp;M実践体験の場】</b></p>
ミャンマー国・EPGEへの提案の方向性	<p>パイロット導入実績を活用し、EPGEの本部や他発電所への導入展開を検討</p> 	<p>ルール、マニュアル整備、体系的な教育 キャパシティビルディング等策定支援</p> 	<p>既設発電所長期メンテナンス契約や リハビリ込みO&amp;M一括請負事業等を通じた自律型O&amp;Mへのサポート</p> 

## 添付資料

---

## 計画トレーニング実施の欠如

特に発電所でのトレーニング実施が継続的に行われていない状況



JICA調査期間中に  
実施したトレーニング  
(EPGE参加者:14人)

1. Highly Satisfied	10
2. Somewhat Satisfied	1
3. Neutral	3
4. Somewhat Dissatisfied	0
5. Highly Dissatisfied	0

## ガス漏れや 異常温度検知

複数の発電所で確認された非常に危険な状態での運転継続



Check valve flange (15%LEL)



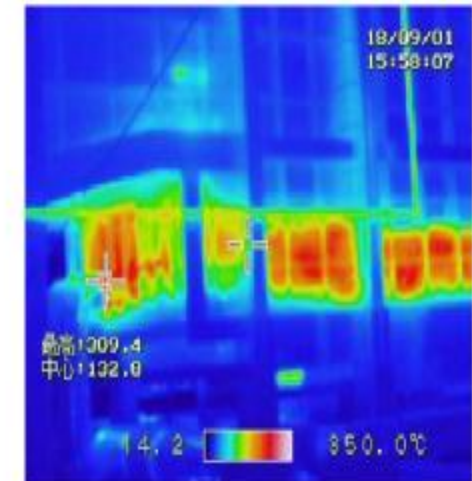
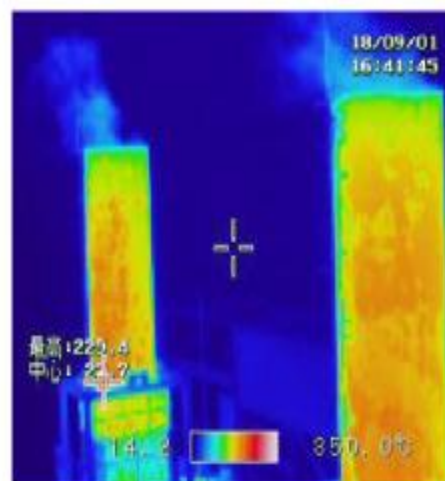
Strainer level gauge lower side flange (100%LEL)



Strainer level gauge lower side flange (100%LEL)



Cyclone separator level gauge lower side flange (32%LEL)





# 添付③ アナログによる発電・運転記録の管理

殆どすべてのドキュメントが  
デジタル管理されていない

Type	Contents
Operation Logbook	<p>It is used for operators to take over between shifts.</p> <p>Shift members, Successors and the Instructions from LDC</p> <p>In the Ywama power station where the generator is hydrogen gas cooling type, the purity of hydrogen gas is described as an important matter.</p>
Maintenance Logbook	<p>The maintenance department describes defect events and repair results.</p> <p>Details on repair content etc. are not described.</p> <p>Even with the same logbook, the criteria for items to be described are different depending on the person in charge.</p> <p>Therefore, there are cases where the details of the defect contents are not described.</p>
Inspection Logbook	<p>Inspection results are recorded.</p> <p>Power output, oil level, oil temperature, presence / absence of oil leak, winding temperature, number of cooling fans in operation, GCB gas pressure, presence / absence of gas leak etc.</p> <p>* Depending on the power plant, there are cases where the logbook is used separately from the operation data recording sheet.</p>



運転記録の管理状態



日々の発電量の記録

# 添付④. O&M不良により合計300MW相当が非稼働状態

不適切なO&Mを起因として

# 300MW

相当の発電機会を損失

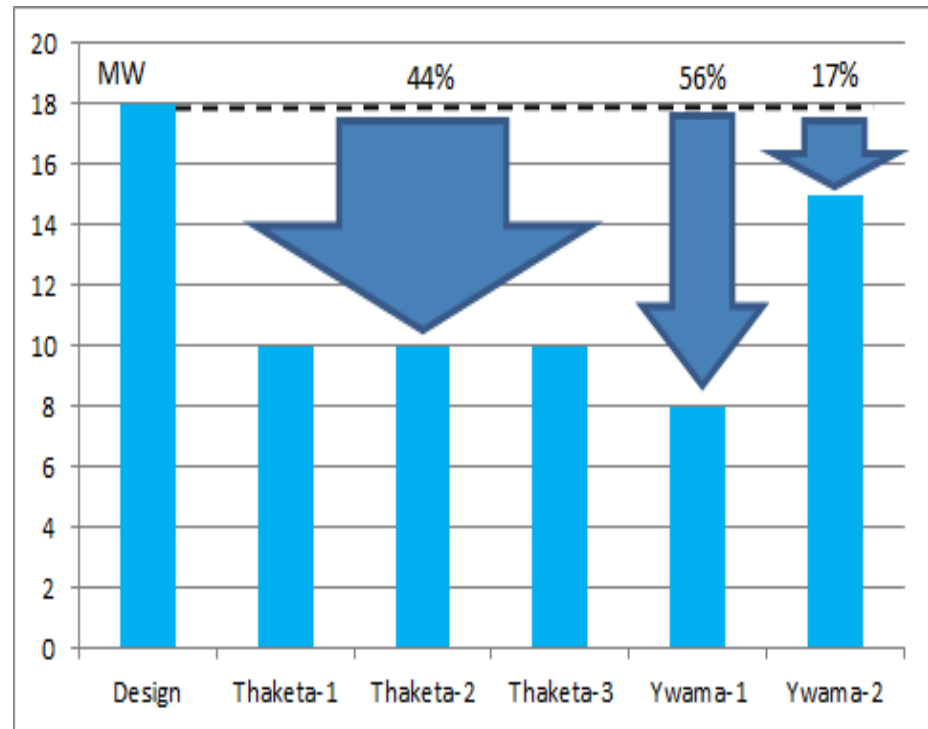
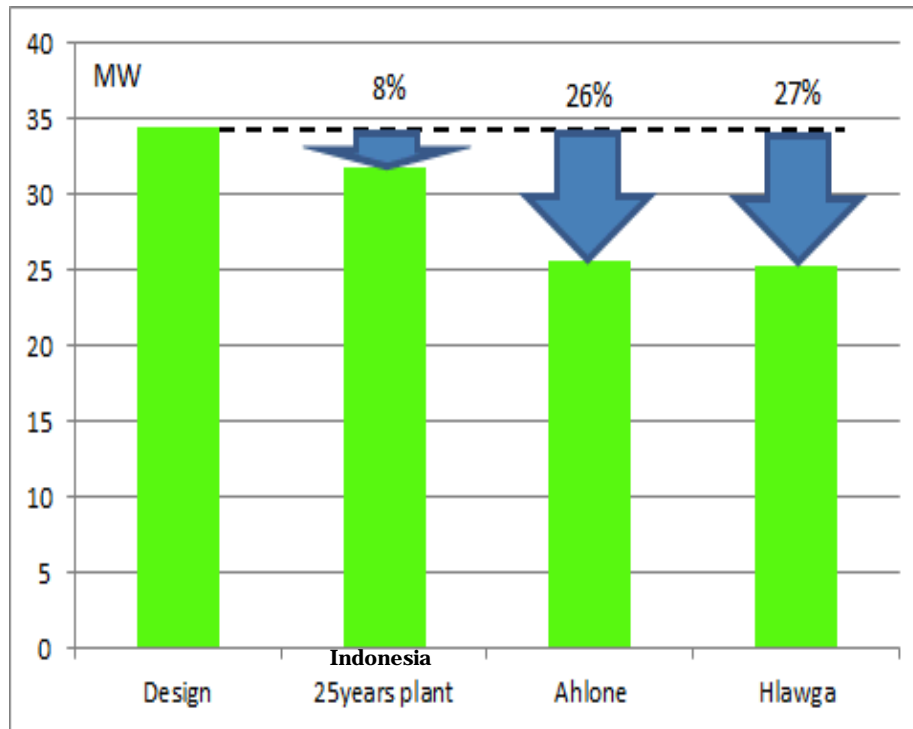


プラント	機種・構成		定格 (MW)	現状 (MW)	Δ (MW)	状況 (対処予定)
イワマ	Fr5	2GTs	37	37	153	軸振動問題発生
	H-25	1on1	33	0		タービン翼損傷
	701D	2GTs	240	120		圧縮機翼損傷 (復旧中)
タケタ	Fr5	3on1	92	38	54	IGV損傷 (リハビリ予定)
ローガ	Fr6	3on1	154	103	51	発電機地絡 (リハビリ予定)
アロン	Fr6	3on1	154	100	54	HRSGトラブル
テイワ	H-25	2GTs	50	50	0	初回定検時期超え 運用中
合計			760	448	<b>312</b>	

※ 2018年10月調査時点<sub>11</sub>

## 添付④ 発電出力の劣化予想

発電量は、設計点と比較して、約  **$\Delta 8\% \sim 56\%$**  劣化している可能性がある。

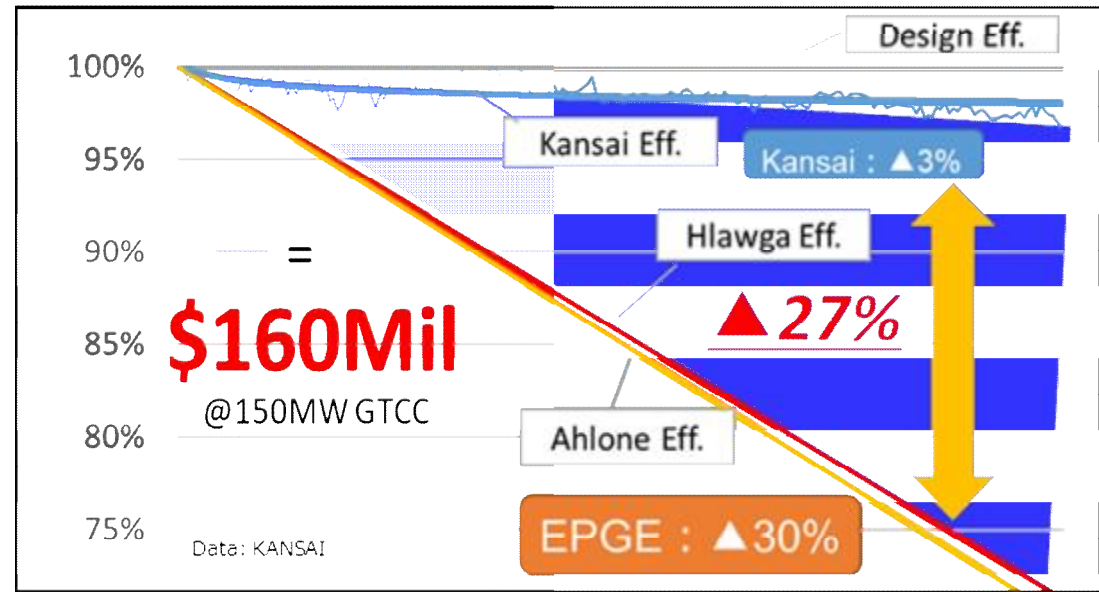


※ 各種性能計測に係る計器が設置されていない状況でもあり、正確に性能値が計測できない事も問題。

# 添付④ 発電効率の劣化予想

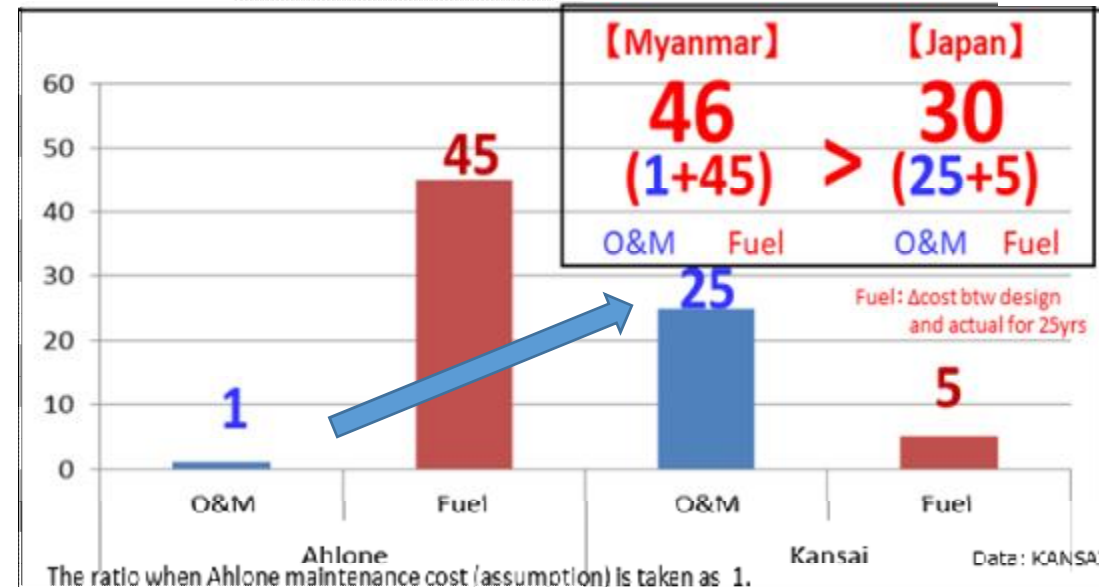
関西電力の発電所とマンマーの発電所を比較した際に、運用による発電効率劣化の差は、およそ

# Δ27%



関西電力の発電所とマンマーの発電所を比較した際に、O&Mにかかる概略費用差は、およそ

# 25times



※ 各種性能計測に係る計器が設置されていない状況でもあり、正確に性能値が計測できない事も問題。

# 添付④. アラーム警報の継続と、実施されない対策

## 中央操作室で鳴り続けるアラーム警報

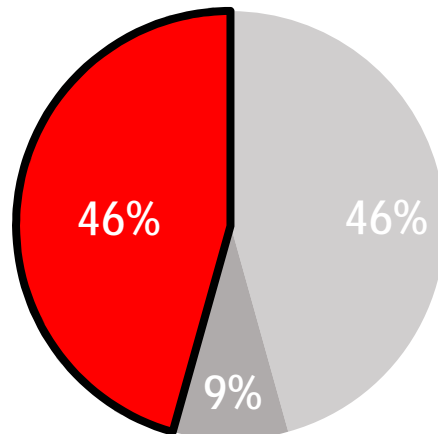
アラーム警報に対する対策が実施できていない状況



# 添付⑤ 計画外停止の発生回数

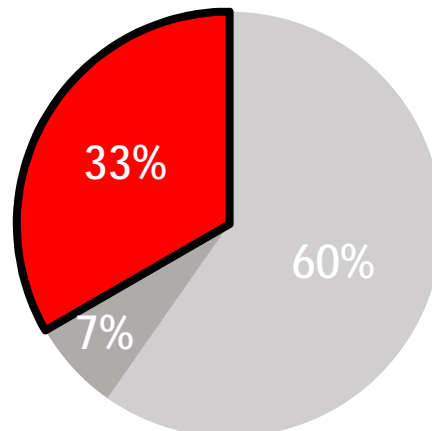
## 2年間で567回

EPGE既設発電所における計画外停止は、約



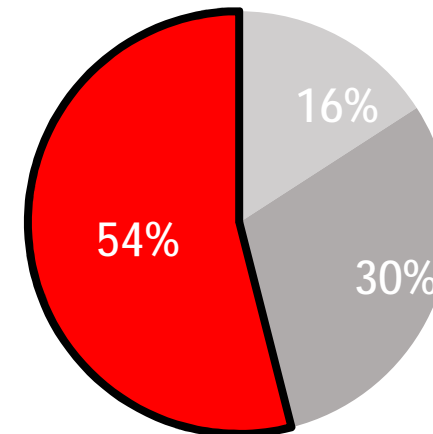
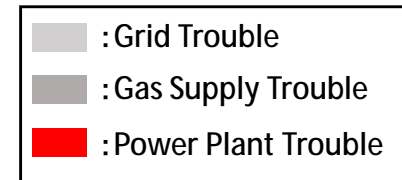
Thaketa operation data

Duration : Apr. 2015~Nov. 2018  
Unexpected Stop No. : 92 times/3units  
タケタ発電所 (Fr5 X 3)



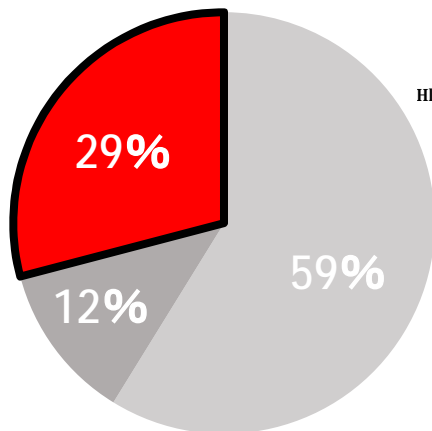
Ywama operation data

Duration : Jan. 2016~Nov. 2018  
Unexpected Stop No. : 144 times/2units  
イワマ発電所 (Fr5 X 2)



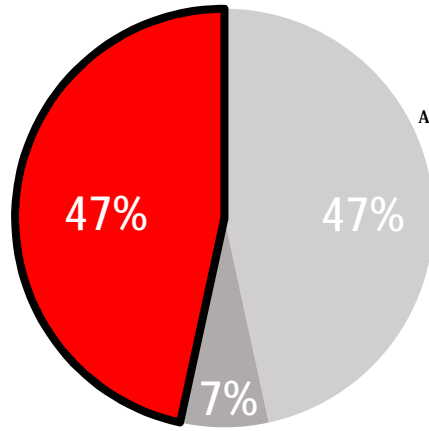
Ywama operation data

Duration : Jan. 2017~Nov. 2018  
Unexpected Stop No. : 63 times/2units  
イワマ発電所 (701D X 2)



Hlwaga operation data

Duration : Jan. 2015~Nov. 2018  
Unexpected Stop No. : 165 times/3units  
ローガ発電所 (Fr6 X 3)

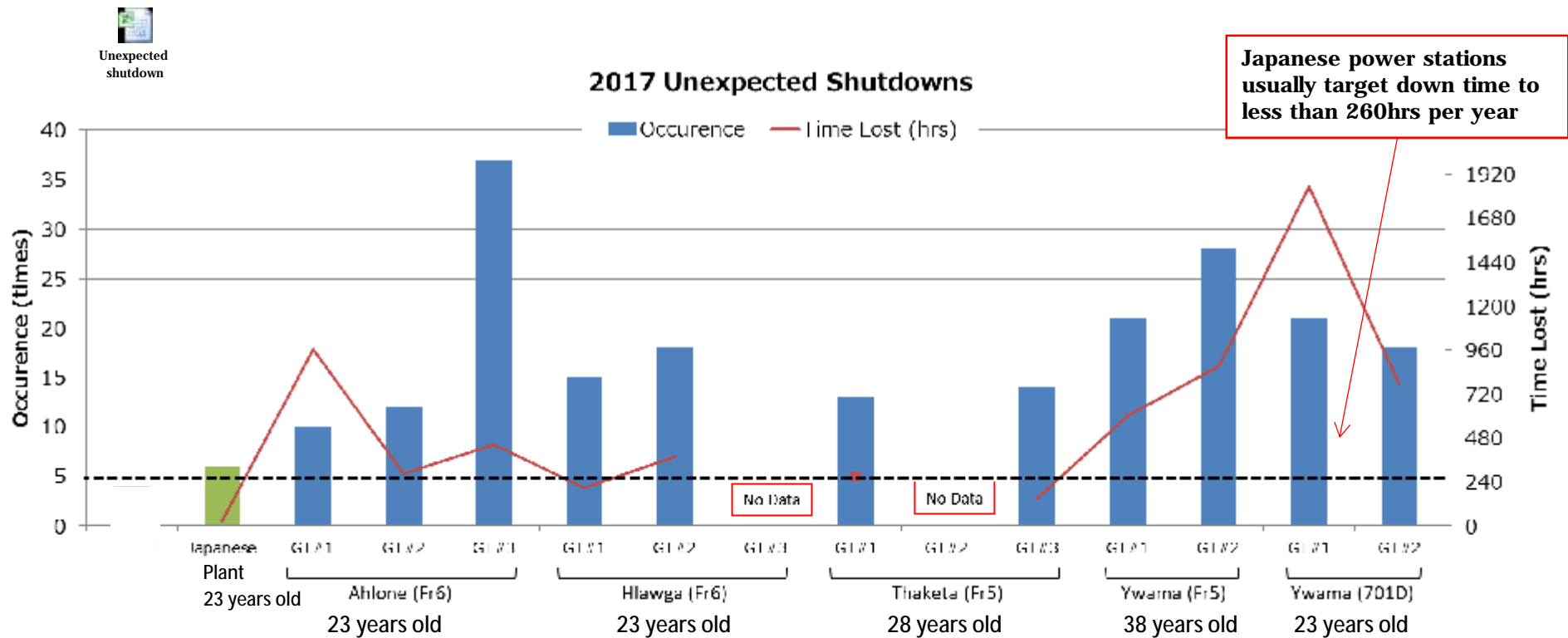


Ahlone operation data

Duration : Jan. 2017~Nov. 2018  
Unexpected Stop No. : 103 times/3units  
アロン発電所 (Fr6 X 3)

# 添付⑤ 日本との計画外停止の発生比較

ユニット毎の計画外停止率は、日本と比較しても **2~7倍** ミャンマーでは多い。







# 使用不可の不良在庫が、倉庫に多数保管

	GT#1	GT#2	GT#3
Thaketa *Plan to be Upgraded in 2019			
Ywama			

■ Original  
■ Upgraded



Parts List

	Thaketa Stock	Ywama Stock	Total Original	Total Upgraded
Combustion Liner	Original	Original	36	0
Transition Piece	Original	Original	52	0
Turbine 1 Nozzle		Original	10	0
Turbine 2 Nozzle			0	0
Turbine 1 Bucket	Original	Original	240	0
Turbine 2 Bucket	Original		90	0
Turbine 1 Shroud Block		Original	36	0
Turbine 2 Shroud Block		Original	30	0

Dead Stock !!

No Spare !!

Stock List

# アナログなセキュリティマネジメントシステム



入出門管理プレート



保安員用のオフィス



鍵ボックスに刺さったままの鍵管理



乱雑な鍵の管理

ミャンマー国

電力・エネルギー省

ミャンマー国

IoT・AI等の最新技術を用いた発電設備の  
維持管理に係る情報収集・確認調査  
報告書

令和元年9月

(2019年9月)

独立行政法人

国際協力機構 (JICA)

関西電力株式会社

三菱日立パワーシステムズ株式会社

東大
JR
19-068

IoT・AI等の最新技術を用いた発電設備の維持管理に係る情報収集・確認調査

目次

第 1 章	序章	1
1.1	調査の背景	1
1.2	調査の目的	2
1.3	調査スケジュール	3
1.3.1	作業計画	3
1.3.2	現地調査実績	4
1.4	実施体制	7
第 2 章	発電所の運転維持・管理体制 一般事項調査結果	9
2.1	発電設備の運営・維持管理に係る法令・規則・マニュアル	9
2.2	設備診断技術、点検保守技術等に係る人材育成体制	10
2.3	品質管理・安全管理体制	11
2.4	部品調達管理	11
2.5	文書・記録管理	11
第 3 章	発電所個別の運転維持・管理体制調査結果	12
3.1	発電所概要	12
3.1.1	設備概要	12
3.1.2	運営体制	16
3.1.3	運転・維持管理の状況	17
3.1.4	部品調達状況	19
3.2	日常運営	20
3.2.1	運営体制	20
3.2.2	発電に係る定量的記録	20
3.2.3	運転・維持管理の実績記録	21
3.2.4	スペアパーツの保管管理	21
3.2.5	事故・異常時の対応と記録管理	23
3.2.6	環境管理	26
3.2.7	発電所入構管理	27
3.3	定期保守	28
3.3.1	保守計画管理	28
3.3.2	実施状況	28
3.3.3	継続的な改善への取り組み状況	30
3.3.4	機器の状況	30
3.4	予知保全	42
3.4.1	運転データの採取状況	44
3.4.2	運転データの蓄積・分析状況	45
3.4.3	予知保全の実施状況	47
3.4.4	記録の管理状況	47
第 4 章	IoT や AI 等の最新技術の適応可能性検討	49

4.1	電力事業における遠隔監視の実施状況	49
4.1.1	電力事業におけるデジタル化	49
4.1.2	火力発電所の遠隔監視	49
4.2	パイロット機材を活用したIoT・AI実証調査の概要	50
4.3	実証調査の結果	53
4.3.1	サービスの開始	53
4.3.2	提供アプリケーションの有効性の確認	54
4.3.3	実績事例	55
4.4	実証調査結果の定量的、定性的分析	58
4.4.1	利用状況	58
4.4.2	利用者の意見	59
<b>第5章</b>	<b>運転維持・管理の課題および改善方法</b>	<b>60</b>
5.1	デジタル化	62
5.2	マニュアル類の整備	62
5.2.1	現状及びマニュアル整備の必要性	62
5.2.2	各課題に対するマニュアルの提案	64
5.3	教育	72
5.3.1	課題	72
5.3.2	トライアル研修	74
5.3.3	改善提案	77
5.4	システム化	80
5.4.1	人材育成管理システムの提案	80
5.4.2	文書の電子化の提案	81
5.4.3	保守計画・実績管理システムの提案	81
5.4.4	予備品管理システムの提案	82
5.4.5	部品管理システム	83
5.5	LTSA	83
5.6	リハビリ & 設備追設	85
5.6.1	Short Term Recommendation	85
5.6.2	Mid.&Long Term Recommendation	91
5.6.3	Switchyardの飛沫対策	93
5.7	水力発電所ダム運用	96
5.7.1	運用改善シミュレーション	96
5.7.2	運用改善による効果	97
5.7.3	運用改善に必要なデータの取得方法の立案およびシステム化	99
5.7.4	衛星データを用いた流入量予測方法	100
5.7.5	降雨量、流入量予測システムの導入	105
5.7.6	衛星雨量を使用した予測精度の検証	107
5.7.7	雨量計の設置	108
5.7.8	ダム貯水池運用改善支援の提案	110
5.8	系統運用	114
<b>第6章</b>	<b>本邦技術(特に中小企業の有する技術)の活用</b>	<b>117</b>
6.1	本邦技術の紹介	117
6.2	具体的な活用事例	130

第 7 章	運営・維持管理の改善、及び JICA による協力可能性検討	138
7.1	Solution A [デジタル O&M インフラ改良検討]	139
7.2	Solution B [ソフト O&M インフラ改良検討]	141
7.3	Solution C [ハード O&M インフラ改良検討]	145
第 8 章	結論と提言	149
8.1	結論	149
8.2	提言	149
8.2.1	Solution A	149
8.2.2	Solution B	150
8.2.3	Solution C	150
8.2.4	その他	151

添付資料

- 添付資料 1 アーロン発電所 個別調査結果
- 添付資料 2 ローガ発電所 個別調査結果
- 添付資料 3 タケタ発電所 個別調査結果
- 添付資料 4 ティラワ発電所 個別調査結果
- 添付資料 5 イワマ発電所 個別調査結果
- 添付資料 6 イェイワ発電所 個別調査結果

図リスト

図 1-1	対象発電所.....	2
図 1-2	サポートプログラム.....	8
図 1-3	EPGE と JICA 調査団による MOM .....	8
図 3-1	ローガ発電所 組織図.....	16
図 3-2	現在のダム運用.....	18
図 3-3	資材調達 概略フロー.....	19
図 3-4	ログブック.....	20
図 3-5	発電データ記録様式.....	20
図 3-6	発電データ記録.....	21
図 3-7	ヤンゴン管内火力発電所運転データ報告.....	21
図 3-8	Frame5 ガスタービン Upgrade ・在庫仕様情報.....	22
図 3-9	Frame6 ガスタービン Upgrade ・在庫仕様情報.....	23
図 3-10	在庫リスト.....	23
図 3-11	部品倉庫.....	23
図 3-12	事故後のレポートイングルート.....	24
図 3-13	事故速報レポート(発電所=>本部).....	25
図 3-14	事故対応許可レター(本部=>発電所).....	25
図 3-15	発電所計画外停止回数・時間.....	25
図 3-16	5 案件トリップ原因分析結果.....	26
図 3-17	セキュリティーカード.....	27
図 3-18	守衛所 (ティラワ発電所) .....	27
図 3-19	鍵管理 BOX.....	27
図 3-20	鍵管理状況.....	27
図 3-21	セキュリティーカメラ監視画面.....	28
図 3-22	5 案件定検実績整理表.....	29
図 3-23	イワマ ガスタービン振動.....	29
図 3-24	Frame 6 出力低下状況図 .....	30
図 3-25	Frame 5 出力低下状況 .....	30
図 3-26	各種損傷状況(2018.8).....	31
図 3-27	A-給水ポンプ振動測定結果 .....	35
図 3-28	C-給水ポンプ振動測定結果.....	35
図 3-29	クーラファン絶縁抵抗測定結果.....	36
図 3-30	B-復水ポンプ電流測定結果.....	36
図 3-31	HRSG ケーシング下部 過熱.....	36
図 3-32	バイパスガスダンパ漏れ.....	37
図 3-33	ガスステーション 漏洩調査結果.....	37
図 3-34	開閉所汚損状況写真.....	39

図 3-35	想定される事故発生の例.....	42
図 3-36	警報発生状況.....	43
図 3-37	ロジックバイパス状況.....	44
図 3-38	警報発生後の運転状況（記録紙あり）.....	46
図 3-39	圧縮機翼損傷状況.....	47
図 3-40	予知保全の例（フィルタ差圧上昇時の対応）.....	47
図 3-41	運転データ他管理状況.....	48
図 4-1	監視画面（関西電力の事例）.....	50
図 4-2	導入したパイロット機材(MHPS-TOMONI®).....	51
図 4-3	GT 異常予兆検知アプリ.....	52
図 4-4	KPI 可視化アプリ.....	52
図 4-5	運転員サポートアプリ.....	53
図 4-6	ティラワ発電所におけるトライアル使用説明会実施状況.....	54
図 4-7	GT 異常予兆検知アプリによるメール配信内容.....	56
図 4-8	発熱量計表面液晶表示“FAILURE”の表示あり.....	56
図 4-9	燃料油起動と燃料ガス起動.....	57
図 4-10	損傷した燃料ノズル.....	58
図 4-11	アプリ別アクセス数.....	59
図 5-1	ソフト・ハード・デジタルを活用した O&M インフラサポートイメージ.....	61
図 5-2	トライアル研修・計器デモ 時間割.....	74
図 5-3	トライアル研修.....	75
図 5-4	火力部門 研修体系概要.....	77
図 5-5	保修員 教育プログラム.....	78
図 5-6	教育プログラム.....	79
図 5-7	現地教育展開.....	80
図 5-8	育成記録データベース記録項目例.....	80
図 5-9	文書電子化システムイメージ図.....	81
図 5-10	システム活用イメージ.....	81
図 5-11	管理システム例.....	82
図 5-12	予備品一覧管理イメージ.....	82
図 5-13	予備品数量管理イメージ.....	83
図 5-14	ガスタービンメンテナンスのフレームワーク（例）.....	84
図 5-15	長期保守契約による包括的なサービス提供パッケージ（例）.....	85
図 5-16	圧縮機の事故後に納められたスペアロータ.....	89
図 5-17	1号機 2018年11月解放点検時のベアリング損傷状況.....	90
図 5-18	プロジェクトスキーム.....	92
図 5-19	契約調印式.....	92
図 5-20	プロジェクト遂行体制.....	92
図 5-21	GIS(Gas Insulated Switchgear).....	94



図 5-22	碍子洗浄装置.....	94
図 5-23	ダム運用改善.....	96
図 5-24	改善後のデュレーションカーブ.....	98
図 5-25	スピルウォータの改善.....	98
図 5-26	発電電力量の改善 (GWh).....	99
図 5-27	GSMaP ウェブサイト画面.....	101
図 5-28	気象モデルによる計算の概念図.....	102
図 5-29	ミャンマーの降雨量予測システム画面.....	103
図 5-30	ダム域の降雨量予測システム画面.....	103
図 5-31	日本におけるダムの雨量・流入量予測システム画面.....	104
図 5-32	リアルタイムデータ処理システムフロー.....	105
図 5-33	ミ国を対象とした降雨予測精度検証例 (2014.6.1～2014.10.31).....	107
図 5-34	面的雨量情報と地上雨量計を組み合わせた高精度な面的雨量情報の作成.....	108
図 5-35	イエイワダム流域と主要な街の位置.....	110
図 5-36	ダム貯水池運用改善支援方法.....	113
図 5-37	発電量 1日カーブ (乾季).....	115
図 6-1	携帯サーモカメラの活用例.....	117
図 6-2	ウェアラブルカメラ.....	118
図 6-3	タブレット機器の活用事例.....	119
図 6-4	スマートバルブの製品図.....	120
図 6-5	緩まないねじ.....	121
図 6-6	モーター電流診断装置の構成図.....	122
図 6-7	ポータブル振動計.....	123
図 6-8	振動解析システムの構成図.....	123
図 6-9	設備保全管理システムの構成例.....	124
図 6-10	リアルタイム現地データ採取システム構成案.....	125
図 6-11	Pat!naLock®-Σによる耐酸性防食層形成メカニズム.....	126
図 6-12	水処理系統概要図.....	127
図 6-13	吸気冷却装置の概要図.....	128
図 6-14	逆浸透法概要図.....	128
図 6-15	吸気系統の概要図.....	129
図 6-16	タブレット入力画面 (例).....	133
図 6-17	帳票出力画面 (例).....	134
図 6-18	レーザー方式ガス検知器の概要.....	135
図 6-19	FLIR ONE PRO 使用例およびサーマルカメラ画像.....	136
図 7-1	Solution イメージ.....	139
図 7-2	デジタルソリューションの横展開.....	140
図 7-3	Solution B 提案項目.....	141
図 7-4	技術協力パッケージプログラム提案スケジュール (案).....	144

図 7-5 契約形態別 O&M サービスの特徴 .....	145
図 7-6 O&M 事業長期契約プロジェクトスキームアイデア(仮).....	147

表リスト

表 1-1	調査の目的.....	2
表 1-2	作業スケジュール.....	3
表 1-3	第1回現地調査実績.....	4
表 1-4	第2回現地調査実績.....	6
表 1-5	第3回現地調査実績.....	7
表 1-6	第4回現地調査実績.....	7
表 1-7	実施体制表.....	8
表 1-8	サポートチーム.....	8
表 2-1	Paunglaung トレーニング・スクール研修時間割.....	10
表 3-1	火力発電所 設備概要(1).....	12
表 3-2	火力発電所 設備概要(2).....	13
表 3-3	水力発電所 設備概要.....	14
表 3-4	各発電所 稼動状況.....	15
表 3-5	発電所運営体制.....	16
表 3-6	部門の役割.....	17
表 3-7	ログブック分類.....	21
表 3-8	高温部品管理状況.....	22
表 3-9	プラント運用状況 (2018.8).....	31
表 3-10	火力設備劣化状況.....	32
表 3-11	水質分析結果 (現地①) .....	33
表 3-12	水質分析結果 (現地②) .....	33
表 3-13	水質分析結果 (国内持ち帰り分析) .....	33
表 3-14	GT 潤滑油分析結果 .....	34
表 3-15	ST 潤滑油分析結果.....	34
表 3-16	開閉所設備の汚損状況.....	38
表 3-17	分析結果 (河川水) .....	39
表 3-18	分析結果 (藻) .....	40
表 3-19	想定塩分付着量.....	40
表 3-20	不溶性物質付着密度と汚損耐電圧の関係.....	41
表 3-21	制御盤更新前後のデータ蓄積状況比較.....	45
表 4-1	トライアル導入アプリケーション (案) .....	51
表 5-1	運転維持管理の課題.....	60
表 5-2	改善提案項目分類.....	62
表 5-3	関西電力にて定めている規則・マニュアル一覧 (共通事項) .....	63
表 5-4	関西電力にて定めている規則・マニュアル一覧 (保守・発電) .....	63
表 5-5	発電設備運営・維持管理全般に関するマニュアル.....	65
表 5-6	人材育成管理に関するマニュアル.....	66

表 5-7	安全管理に関するマニュアル.....	67
表 5-8	部品調達管理に関するマニュアル.....	67
表 5-9	文書・記録管理に関するマニュアル.....	68
表 5-10	発電記録管理に関するマニュアル.....	68
表 5-11	保守計画・管理に関するマニュアル.....	69
表 5-12	予備品・付属品 管理に関するマニュアル.....	70
表 5-13	事故・異常時対応に関するマニュアル.....	71
表 5-14	入出門管理に関するマニュアル.....	72
表 5-15	設備補修に関するマニュアル.....	72
表 5-16	教育に関する課題.....	73
表 5-17	トライアル研修項目.....	74
表 5-18	トライアル研修参加者リスト.....	75
表 5-19	参加者アンケート結果.....	75
表 5-20	研修内容.....	79
表 5-21	プラント停止状況及びリハビリ計画状況.....	86
表 5-22	発電所毎のリハビリスコープ&概要案.....	87
表 5-23	1号機 点検前後の振動値変化.....	91
表 5-24	建物価格.....	95
表 5-25	碍子洗浄装置（変圧器単体取付）価格比率.....	96
表 5-26	降雨量・流入量予測システムの導入までの流れ.....	106
表 5-27	降雨量・流入量予測システム導入の概算費用.....	106
表 5-28	SESAME（雨量計）の概算費用と仕様について.....	109
表 5-29	本邦研修内容.....	110
表 5-30	OJT およびセミナーの内容.....	111
表 5-31	OJT の内容.....	112
表 5-32	予測システム計画工程表.....	113
表 5-33	系統運用に関する組織の役割.....	114
表 5-34	発電パターン.....	115
表 6-1	各冷却方式の特徴.....	127
表 6-2	機器・サービス検討結果.....	131
表 7-1	サポートプログラム対象および実現方法.....	138
表 7-2	Solution B 項目別優先度.....	142
表 7-3	技術協力パッケージ研修プログラム（案）.....	144

## 略語集

略語	英語標記	日本語標記
ABB	Asea Brown Boveri	—
ADB	Asian Development Bank	アジア開発銀行
AE	Assistant Engineer	—
AI	Artificial Intelligence	人工知能
ASEAN	Association of Southeast Asian Nations	東南アジア諸国連合
AVR	Automatic Voltage Regulator	自動電圧調整装置
BOP	Balance of Plant	周辺機器
BPT	Blade Path Temperature	ブレードパス温度
CABS	Computer Aided Balancing System	—
CCGT	Combined Cycle Gas Turbine	ガスタービンコンバインドサイクル
CCYW	Sinohydro Corporation Limited	—
C/C	Control Center	コントロールセンター
CE	Chief Engineer	—
CHMC	China National Heavy Machinery Corporation	—
CHP	Combined Heat and Power	コージェネレーション
CI	Combustion Inspection	燃焼器検査
CITIC	China International Trust Investment Corporation	—
CNEEC	China National Electric Equipment Corporation	—
COD	Commercial Operation Date	営業運転開始日
COD	Chemical Oxygen Demand	化学的酸素要求量
CRI	Comprehensive Rotor Inspection	ロータ精密点検
CSR	Corporate Social Responsibility	企業の社会的責任
DCS	Distributed Control System	分散制御システム
DCT	Disc Cavity Temperature	ディスクキャビティ温度
DPTSC	Department of Power Transmission and System Control	送電・運用系統局
EDI	Evans Deakin Engineering	—
EE	Executive Engineer	—
EL	Elevation Level	標高
EPC	Engineering, Procurement and Construction	設計・調達・建設
EPGE	Electric Power Generation Enterprise	発電公社
ESDD	Equivalent Salt Deposit Density	等価塩分付着密度
Ex	Exhaust	排気
FT	Fault Tree	故障の木
FTL	Full Tank Level	常時満水位
GCB	Gas Circuit Breaker	ガス遮断器

略語	英語標記	日本語標記
GCC	Generation Control Center	発電制御所
GE	General Electric Company	—
GEN	Generator	発電機
GGE	Golden Green Energy	—
GIS	Gas Insulated Switchgear	ガス絶縁開閉装置
GSMaP	Global Satellite Mapping of Precipitation	地球全体の面的な降水量分布
GT	Gas Turbine	ガスタービン
GtoG	Government to Government	政府間取引
HCF	High Cycle Fatigue	高サイクル疲労
HGPI	Hot Gas Path Inspection	高温部検査
HMI	Human Machine Interface	ヒューマンマシンインターフェース
HQ	Head Quarters	本社
HRSG	Heat Recovery Steam Generator	排熱回収ボイラ
ICT	Information and Communication Technology	情報通信技術
IFC	International Finance Corporation	国際金融公社
IGV	Inlet Guide Vane	入口案内翼
IHI	Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd	石川島播磨重工業株式会社
IoT	Internet of Things	モノのインターネット
IPP	Independent Power Producer	独立系発電事業
ISO	International Organization for Standardization	国際標準化機構
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	宇宙航空研究開発機構
JBE	John Brown Engineering	—
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構
JIS	Japanese Industrial Standards	日本工業規格
KPI	Key Performance Indicator	主要業績評価指標
KS-sol	Kanden System Solutions Co., Inc	関電システムソリューションズ
LDC	Load Dispatch Center	給電制御所
LEL	Lower Explosion Limit	爆発下限界
LNG	Liquid Natural Gas	液化天然ガス
LO	Lube Oil	潤滑油
LSB	Low Speed Balancing	低速バランスング
LTSA	Long Term Service Agreement	長期保守契約
MCMA	Motor Current Multiplex Analysis	電動機電流情報診断
MD	Managing Director	—
MHI	Mitsubishi Heavy Industries	三菱重工業
MHPS	Mitsubishi Hitachi Power Systems	三菱日立パワーシステムズ
MI	Major Inspection	分解点検

略語	英語標記	日本語標記
MOEE	Ministry of Electricity and Energy	電力エネルギー省
MOGE	Myanmar Oil and Gas Enterprise	ミャンマー石油ガス公社
MOL	Minimum Operation Level	最低運用水位
MOM	Minutes of Meeting	覚書
MONREC	Ministries of Natural Resources and Environmental Conservation	資源環境省
MP	Master Plan	マスタープラン
MT	Magnetic Particle Testing	磁粉探傷試験
NCAR	National Center for Atmospheric Research	米国大気研究センター
NCC	National Control Center	中央制御所
NDI	Non Destructive Inspection	非破壊試験
NG	Natural Gas	天然ガス
NOx	Nitrogen Oxide	窒素酸化物
NSDD	Non-Soluble Deposit Density	不溶性物質付着密度
OEM	Original Equipment Manufacturer	製造者
OJT	On the Job Training	実地訓練
ONAF	Oil Natural Air Forced	油入風冷式
ONAN	Oil Natural Air Natural	油入自冷式
OPS	Operator Station	オペレータステーション
O&M	Operation and Maintenance	運転保守
P/C	Power Center	パワーセンター
pH	Power of Hydrogen	水素イオン指数
PoE	Power over Ethernet	パワー オーバー イーサネット
PPA	Power Purchase Agreement	電力販売契約
P/S	Power Station	発電所
PSI	Pounds Square Inch	—
PT	Penetrant Testing	浸透探傷試験
QMS	Quality Management System	品質管理システム
RBOT	Rotating Bomb Oxidation Test	回転ボンベ式酸化安定度試験法
RCC	Roller Compacted Concrete	転圧コンクリート
RFID	Radio Frequency Identification	無線 IC タグ
RMC	Remote Monitoring Center	遠隔監視センター
RMSE	Root Mean Squared Error	二乗平均平方根誤差
RO	Reverse Osmosis	逆浸透膜
ROMM	Rehabilitation Operation Maintenance Management	リハビリ・運用保守管理
RT	Radiographic Testing	放射線透過試験
SAE	Sub Assistant Engineer	—

略語	英語標記	日本語標記
SDGs	Sustainable Development Goals	持続可能な開発目標
SESAME	Sensory data transmission Service Assisted by Midori Engineering laboratory	—
SEZ	Special Economic Zone	経済特区
SPC	Special Purpose Company	特別目的会社
SRS	Skill Record System	スキル管理システム
ST	Steam Turbine	スチームタービン
STG	Steam Turbine Generator	スチームタービン発電機
S+3E	Safety + Energy security, Environment, Economical efficiency	安全+エネルギー安定性、環境性、経済性
TA	Technical Advisor	技術指導員
TDS	Total Dissolved Solids	全溶解性蒸発残留物質
TQM	Total Quality Management	総合的品質管理
UT	Ultrasonic Testing	超音波探傷試験
WRF	Weather Research and Forecasting	—



## 第1章 序章

### 1.1 調査の背景

ミャンマー連邦共和国（以下、「ミ国」と記す）では近年の経済発展に伴い電力需要が急増し、2010年に1,371MWであった最大電力需要は2017年には3,189MWとなっている。ミ国の総発電設備容量は2017年7月時点で4,878.8MWであるが、水力発電所における乾季の水不足や、発電設備の老朽化等による出力低下に加え、他国への電力輸出もあり、供給力が需要を下回っている状況にある。ミ国では電力需給ギャップ解消のため、電力供給力の改善が喫緊の課題となっている。

過去に実施された、「国家電力マスタープラン案」（2014年）および「ミャンマー国電力開発計画能力向上プロジェクト」等の調査によれば、既存ガス火力発電所は、適切な設備の維持・管理がなされておらず、30%程度の低い熱効率で運転されており、設備能力を十分に活かしきれていないこと、また工事における部品手配、工事計画、トラブルシューティング等で改善すべき課題があることが報告されている。これらより、電力供給を早期に増強するためには、発電所の運営・維持管理（以下、「O&M」と記す）における体制の構築ならびにスタッフの能力向上が急務となっている。

こうした背景から、2016年7月に発表されたミャンマー新政権の経済政策においては、「電力等の基礎的経済インフラの迅速な整備」を重点政策と位置づけている。また、2016年11月に安倍総理とアウンサン・スー・チー国家最高顧問との会談において、「日本・ミャンマー協力プログラム」が策定され、「産業発展を可能とするエネルギー協力」が柱の一つとして掲げられた。同プログラムでは、日本は官民併せて2016年度から5年間で8千億円規模の貢献を行う旨表明している。

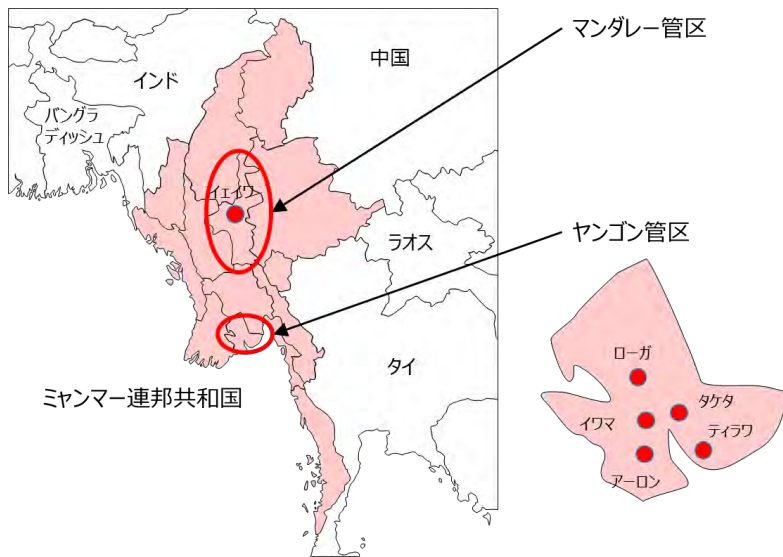
本調査は、現状の問題点を把握した上で、発電所O&Mの高度化の実現に向けた検討・提言を行うものであり、両国政府の協力方針に合致する。

さらに、現在日本では、「未来投資戦略2017」や「新しい経済政策パッケージ」等で重点政策として示されているように「生産性革命」により中小企業をはじめとする日本企業の生産性向上を目指している。日本政府が推進するIoT・AIを活用した最新技術導入等による生産性向上の可能性や、中小企業が有する技術の導入可能性を見出すことにより、ミ国の発展に貢献することができる。

## 1.2 調査の目的

表 1-1 調査の目的

項目	内容
目的	5か所の火力発電所（ティラワ、ローガ、アーロン、イワマ、タケタの各発電所）および1か所の水力発電所（イエイワ発電所）の運営・維持管理の現状を調査し、問題点を把握したうえで、IoTやAI等の最新技術の活用や、特に本邦中小企業が有する運営・維持管理に関連する技術の導入可能性を踏まえつつ、運用、設備、組織体制の観点から発電設備保全の向上に係る検討・提言を行う。
対象地域	ヤンゴン（火力発電所の所在地） ネピドー（電力・エネルギー省発電公社の本部の所在地） マンダレー（水力発電所の所在地）
機関	電力・エネルギー省（MOEE：Ministry of Electricity and Energy）関連の以下組織 - 発電公社（EPGE：Electric Power Generation Enterprise）
業務範囲	(1) 発電所のO&M体制に係る一般情報 <small>出典:JICA 調査団</small> (2) 各発電所の個別訪問及びO&M体制 (3) IoTやAI等の最新技術適用可能性検討 (4) O&Mの改善、及びJICAによる協力可能性の提案



出典:JICA 調査団

図 1-1 対象発電所

### 1.3 調査スケジュール

#### 1.3.1 作業計画

本調査は、2018年7月から2019年7月までの期間において4回の現地調査を含むスケジュールで実施される。現地調査では、発電所O&M体制の調査、遠隔監視装置の設置、発電所O&M技術に関するトライアル研修等を実施する。

表 1-2 作業スケジュール

作業項目	期間	2018年度												2019年度			
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7			
<b>A. 【第1次国内作業】</b>																	
A 1	既存資料確認・分析	■															
A 2	機材調達等の手配	■	■														
A 3	質問票作成	■	■														
A 4	インセプション・レポート作成	■	▲														
<b>B. 【第1次現地調査】</b>																	
B 1	キックオフミーティング		■														
B 2	情報収集協力依頼		■														
B 3	他ドナーの支援状況の確認		■														
B 4	発電所のO&M体制に係る一般事項の調査		■														
B 5	発電所の個別訪問及びO&M体制の調査		■	■													
B 6	遠隔監視装置取付け（1台目）		■	■	■	■	■	■	■								
<b>C. 【第2次国内作業】</b>																	
C 1	帰国報告			■													
C 2	電所のO&M体制に係る一般事項調査結果取り纏め・評価			■	■	■	■	■	■								
C 3	発電所の個別訪問及びO&M体制の調査結果取り纏め・分析			■	■	■	■	■	■								
C 4	デジタルソリューション			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
C 5	IoT・AI等の最新技術の適応可能性検討			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
C 6	質問票作成			■													
<b>D. 【第2次現地調査】</b>																	
D 1	発電所のO&M体制に係る一般事項の追加調査					■											
D 2	発電所の個別訪問及びO&M体制の追加調査					■	■	■	■								
D 3	デジタルソリューションの効果調査 遠隔監視装置取付け（2台目）							■	■	■	■						
<b>E. 【第3次国内作業】</b>																	
E 1	帰国報告						■			■							
E 2	発電所のO&M体制に係る一般事項調査結果取り纏め・検討						■	■	■	■							
E 3	発電所の個別訪問及びO&M体制の調査結果取り纏め・分析						■	■	■	■	■	■	■	■			
E 4	IoT・AI等の最新技術の適応可能性検討						■	■	■	■	■	■	■	■			
E 5	O&Mの改善点検討及び提案作成							■	■	■	■	■	■	■			
E 6	JICAによる協力可能性検討及び提案作成							■	■	■	■	■	■	■			
E 7	インテリム・レポート作成									■	■	■	■	■			
<b>F. 【第3次現地調査】</b>																	
F 1	インテリム・レポートの報告・協議										■	■	■	■			
F 2	追加情報・データの収集										■	■	■	■			
<b>G. 【第4次国内作業】</b>																	
G 1	帰国報告										■						
G 2	ドラフト・ファイナル・レポートの作成										■	■	■	■			
<b>H. 【第4次現地調査】</b>																	
H 1	ドラフト・ファイナル・レポートの説明、協議											■	■	■			
<b>I. 【第5次国内作業】</b>																	
I 1	帰国報告												■				
I 2	ファイナル・レポートの作成												■	■			

■ 現地業務期間    ■ 国内作業期間    ▲ 報告書等の説明

出典:JICA 調査団

### 1.3.2 現地調査実績

#### (1) 第1回現地調査

第1回現地調査を2018.8.15～2018.9.12に実施した。

主要実施項目は以下のとおり。

- a. EPGE キックオフミーティング
- b. EPGE 発電所運営状況調査
- c. 発電所個別訪問 O&M 体制調査
- d. 設備簡易診断（振動診断、水質診断、絶縁抵抗測定、ガス漏洩箇所診断）

表 1-3 第1回現地調査実績

月/日	高島 英将 (関西電力) 総括/発電所運営	桑原 淳一 (MHPS) 発電設備 (機械)	佐藤 亮 (関西電力) 発電設備 (電気・計装)	平岡 利幸 (MHPS) 遠隔モニタリング
15 水 1	出国 (⇒ヤンゴン)			
16 木 2	事前準備			
17 金 3	事前準備			
18 土 4	事前準備			
19 日 5	移動 (ヤンゴン⇒ネピドー)	出国 (⇒ヤンゴン)	←	
20 月 6	PM:EPGEインゼプションレポート説明、状況確認	AM:移動 (ヤンゴン⇒ネピドー) MOEEインゼプションレポート説明、状況確認	←	
21 火 7	EPGE資料確認、情報収集 (発電所のO&M体制に係る一般事項調査)	←	←	
22 水 8	資料整理 PM:移動 (ネピドー⇒マンダレー)	←	←	
23 木 9	発電所個別訪問O&M体制調査 イェイワ (O&M体制聞き取り、資料確認)	←	←	
24 金 10	発電所個別訪問O&M体制調査 イェイワ (O&M体制聞き取り、資料確認、機器診断)	←	←	
25 土 11	移動 (マンダレー⇒ヤンゴン)	←	←	
26 日 12	資料整理	←	←	
27 月 13	発電所個別訪問O&M体制調査 タクタ (O&M体制聞き取り、資料確認)	←	←	
28 火 14	発電所個別訪問O&M体制調査 タクタ (補機診断、漏洩箇所調査)	←	←	
29 水 15	発電所個別訪問O&M体制調査 イワマ (O&M体制聞き取り、資料確認)	←	←	出国 (⇒ヤンゴン) 夜行便 AM:合流 発電所個別訪問O&M体制調査 イワマ (O&M体制聞き取り、資料確認)
30 木 16	発電所個別訪問O&M体制調査 イワマ (O&M体制聞き取り、資料確認)	←	←	←
31 金 17	発電所個別訪問O&M体制調査 イワマ (補機診断、漏洩箇所調査)	←	←	←
1 土 18	発電所個別訪問O&M体制調査 ローガ (O&M体制聞き取り、資料確認)	←	←	←
2 日 19	資料整理	←	←	←
3 月 20	発電所個別訪問O&M体制調査 ローガ (補機診断、漏洩箇所調査)	←	←	←
4 火 21	発電所個別訪問O&M体制調査 アーロン (O&M体制聞き取り、資料確認)	←	←	←
5 水 22	発電所個別訪問O&M体制調査 アーロン (補機診断、漏洩箇所調査)	←	←	←
6 木 23	発電所個別訪問O&M体制調査 アーロン (振動、水質、潤滑油診断事前調査)	←	←	←
7 金 24	発電所個別訪問O&M体制調査 ティラワ (O&M体制聞き取り、資料確認)	←	←	←
8 土 25	発電所個別訪問O&M体制調査 ティラワ (補機診断、漏洩箇所調査)	←	←	←
9 日 26	移動 (ヤンゴン⇒ネピドー)	←	←	←
10 月 27	EPGE資料確認、情報収集 (発電所のO&M体制に係る一般事項調査)	←	←	JICAミャンマー事務所帰国報告
11 火 28	EPGEで調査報告 PM:移動 (帰国)	←	←	EPGEで調査報告
12 水 29	移動 (帰国)	←	←	移動 (帰国)

出典:JICA 調査団

本現地調査時に、ネピドーにおいてEPGEとのキックオフミーティングを行い、JICA調査団は本調査の概要（目的、調査対象、実施方法等）について説明し、調査における許可・協力

を依頼し、了承された。

また、IoT技術の導入可能性検討のためのパイロット機材(遠隔監視装置:MHPS-TOMONI®)の設置につき、EPGE及びMOEEから承認を受けた。

現地調査終了後、ネピドーにおいてラップアップミーティングを行い、調査結果の報告を行った。本ミーティングにおいて、EPGE 総裁より遠隔監視システムの水力発電所への展開の可能性を検討するように依頼を受け、日本企業が設置し関与したバルーチャン水力発電所の調査を提案された。本提案を受け、関係箇所と調整した結果、第2回現地調査時にバルーチャン水力発電所の調査を追加することとした。

## (2) 第2回現地調査

第2回現地調査を2018.11.25～2018.12.20に実施した。

主要実施項目は以下のとおり。

- a. EPGE 発電所運営状況調査
- b. 発電所運転データ採取
- c. トライアル研修
- d. GT、ST 潤滑油採取
- e. ボイラ水採取

第2回現地調査では、遠隔監視装置(MHPS-TOMONI®)の2台の設置を計画していたが、関税手続きの状況によっては、第2回調査期間中には実施できない可能性があることを伝え、了承された。

表 1-4 第2回現地調査実績

月/日	高島 英将 (関西電力) 総括/発電所運営	桑原 淳一 (MHPS) 発電設備 (機械)	佐藤 亮 (関西電力) 発電設備 (電気・計装)	平岡 利幸 (MHPS) 遠隔モニタリング
25 日 1	出国 (⇒ネビド)	←	←	←
26 月 2	EPGE 第2回現地調査内容説明	←	←	←
27 火 3	EPGE 第2回現地調査内容説明、資料確認	EPGE 第2回現地調査説明、資料確認 PM:移動 (ネビド⇒ヤンゴン)	←	←
28 水 4	EPGE打合せ、資料確認 移動 (⇒ヤンゴン)	移動 (ヤンゴン⇒ロイコー) パルチェーンNo.1水力発電所調査	←	←
29 木 5	移動 (ヤンゴン⇒ロイコー) パルチェーンNo.2水力発電所調査	パルチェーンNo.2水力発電所調査	←	←
30 金 6	AM:移動 (ロイコー⇒ヤンゴン) 発電所個別訪問O&M調査 タクタ (O&M体制聞き取り、運転データ確認)	←	←	←
1 土 7	資料整理	←	←	←
2 日 8	資料整理	←	←	←
3 月 9	発電所個別訪問O&M体制調査 タクタ (O&M体制聞き取り、運転データ確認)	←	←	←
4 火 10	発電所個別訪問O&M体制調査 ローガ (O&M体制聞き取り、運転データ確認)	←	←	←
5 水 11	発電所個別訪問O&M体制調査 ローガ (O&M体制聞き取り、運転データ確認)	←	発電所個別訪問O&M体制調査 ローガ (G T潤滑油、ボイラ水採取)	←
6 木 12	発電所個別訪問O&M体制調査 イワマ (O&M体制聞き取り、運転データ確認)	←	←	←
7 金 13	発電所個別訪問O&M体制調査 イワマ (O&M体制聞き取り、運転データ確認) 移動 (ヤンゴン⇒マンダレー)	発電所個別訪問O&M体制調査 イワマ (O&M体制聞き取り、運転データ確認)	発電所個別訪問O&M体制調査 イワマ (O&M体制聞き取り、運転データ確認) 移動 (ヤンゴン⇒マンダレー)	発電所個別訪問O&M体制調査 イワマ (O&M体制聞き取り、運転データ確認)
8 土 14	発電所個別訪問O&M体制調査 イエワ (O&M体制聞き取り、ダム水位管理)	資料整理	発電所個別訪問O&M体制調査 イエワ (O&M体制聞き取り、ダム水位管理)	資料整理
9 日 15	資料整理 移動 (マンダレー⇒ヤンゴン)	資料整理	資料整理 移動 (マンダレー⇒ヤンゴン)	資料整理
10 月 16	発電所個別訪問O&M体制調査 イワマ (サーシング争奪調査、運転データ確認)	←	←	←
11 火 17	発電所個別訪問O&M体制調査 アーロン (トライアル研修、運転データ確認)	←	←	←
12 水 18	発電所個別訪問O&M体制調査 アーロン (トライアル研修、運転データ確認)	←	発電所個別訪問O&M体制調査 アーロン (トライアル研修、潤滑油採取)	←
13 木 19	発電所個別訪問O&M体制調査 アーロン (トライアル研修、運転データ確認)	←	←	←
14 金 20	発電所個別訪問O&M体制調査 ディフ (O&M体制聞き取り、運転データ確認)	←	←	←
15 土 21	移動 (ヤンゴン⇒ネビド)	←	←	←
16 日 22	資料整理	←	←	←
17 月 23	EPGE調査結果報告 資料確認	←	←	←
18 火 24	EPGE調査結果報告 資料確認	EPGE調査結果報告 資料確認 移動 (帰国)	←	←
19 水 25	EPGE資料確認 移動 (帰国)	移動 (帰国)	←	←
20 木 26	移動 (帰国)			

出典:JICA 調査団

(3) 第3回現地調査

第3回現地調査を2019.3.10～2019.3.16に実施した。

主要実施項目は以下のとおり。

- a. イワマ発電所訪問 O&M 状況調査
- b. EPGE ヘインテリムレポートの内容説明

インテリムレポート内容説明時に、EPGE 総裁より発電所を効率的に運用するために系統運用についても検討が必要との意見を頂き、状況を確認するため DPTSC への聞き取りおよび NCC の見学を実施した。

また、第2回現地調査時に実施ができなかった、デジタルソリューションパイロット機材の設置については、個別に2019.1.10～2019.1.15で実施し、2019.3に操作方法等の説明会を実施している。

表 1-5 第 3 回現地調査実績

月/日			高島 英将 (関西電力) 総括/発電所運営	桑原 淳一 (MHPS) 発電設備 (機械)	佐藤 亮 (関西電力) 発電設備 (電気・計装)	平岡 利幸 (MHPS) 遠隔モニタリング	
3	10	日	1	-	出国 (⇒ヤンゴン)	-	出国 (⇒ヤンゴン)
	11	月	2	出国 (⇒ヤンゴン)	イワマ発電所 調査	出国 (⇒ヤンゴン)	イワマ発電所 調査
	12	火	3	イワマ発電所 調査	←	←	←
	13	水	4	イワマ発電所 調査	←	←	←
	14	木	5	移動 (ヤンゴン⇒ネピド) EPGE インデラムレポート説明	←	←	イワマ発電所 MHPS-TOMONI調査
	15	金	6	EPGE 打合せ 移動 (帰国)	←	←	イワマ発電所 調査 移動 (帰国)
	16	土	7	移動 (帰国)	←	←	←
	17	日	8	-	-	-	-

出典:JICA 調査団

(4) 第 4 回現地調査

第 4 回現地調査を 2019. 6. 10～2019. 6. 15 に実施した。

主要実施項目は以下のとおり。

- a. イワマ発電所訪問 O&M 状況調査
- b. EPGE へドラフトファイナルレポートの内容説明
- c. MOGE 打合せ

表 1-6 第 4 回現地調査実績

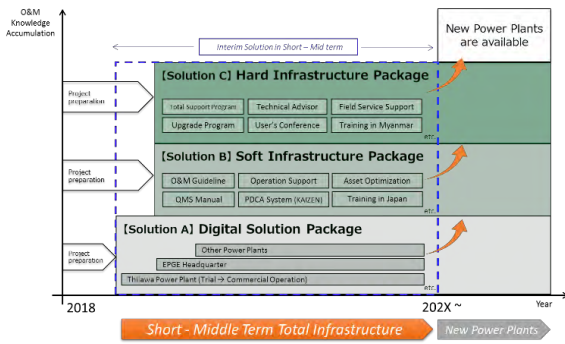
月/日			高島 英将 (関西電力) 総括/発電所運営	桑原 淳一 (MHPS) 発電設備 (機械)	佐藤 亮 (関西電力) 発電設備 (電気・計装)	平岡 利幸 (MHPS) 遠隔モニタリング	
6	9	日	-	-	-	-	
	10	月	1	出国 (⇒ネピド)	←	←	
	11	火	2	EPGE ドラフトファイナルレポート説明・協議	←	←	
	12	水	3	EPGE ドラフトファイナルレポート説明・協議	←	←	
	13	木	4	EPGE、MOGE打合せ 帰国	EPGE、MOGE打合せ	EPGE、MOGE打合せ 帰国	←
	14	金	5	移動 (帰国)	Ywama発電所 打合せ 帰国	移動 (帰国)	←
	15	土	6	-	移動 (帰国)	-	-
	16	日	-	-	-	-	-

出典:JICA 調査団

1.4 実施体制

関西電力株式会社 (以下、「関西電力」と記す)、三菱日立パワーシステムズ株式会社 (以下、「MHPS」と記す) の本邦企業 2 社からそれぞれ 2 名ずつの合計 4 名のコンサルタントが本調査に参加する。また、第 2 回現地調査時の EPGE とのミーティングにおいて本調査および提案するサポートプログラムの検討をより効果的に進めるため、第 2 回現地調査報告時に EPGE において対応チームを編成し協力していくことが EPGE 総裁と JICA 調査団との間で合意された。

サポートプログラム、実施体制等を以下に示す。



出典:JICA 調査団

図 1-2 サポートプログラム

表 1-7 実施体制表

	JICA 調査団	M国 対応チーム
代表 (総括)	総括/発電所運営 高島 英将	Dy.Managing Director U Than Naing Oo
Solution C Hard Infrastructure	発電設備 (機械) 桑原 淳一	Chief Engineer Dr. Maung Maung Kyaw Department of Renewable Energy and Hydrpower Plants
Solution B Soft Infrastructure	発電設備 (電気,制御) 佐藤 亮	Chief Engineer U Soe Win Department of Thermal Power
Solution A Digital Package	遠隔モニタリング 平岡 利幸	Deputy Chief Engineer Dr. Win Myint Department of Renewable Energy and Hydrpower Plants

出典:JICA 調査団



出典:JICA 調査団

図 1-3 EPGE と JICA 調査団による MOM

表 1-8 サポートチーム

属	担当	氏名	所属	担当	氏名
関西電力	火力設備 (全般)	萬木 勝敏	MHPS	契約/予算管理	坪井 祥太
	火力設備 (全般)	藤村 直樹		契約/予算管理	小西 さつき
	火力設備 (機械)	団野 康宏		契約/予算管理	山田 雄一
	火力設備 (計装)	高野 起治		契約/予算管理	宮崎 望
	火力設備 (電気)	緒方 利彦		他社製発電設備 (機械)	高橋 章
	火力設備 (機械)	尾崎 敬祐		他社製発電設備 (機械)	田中 浩平
	火力設備 (機械)	松岡 弘晃		火力設備 (全般)	中嶋 秀樹
	火力設備 (計装)	奥村 健祐		遠隔モニタリング	田中 徹
	火力設備 (計装)	石原 由紀子		遠隔モニタリング	長田 克幸
	火力設備 (電気)	一岡 栄喜		遠隔モニタリング	清水 幹悦
	火力設備 (電気)	藤原 悠平		遠隔モニタリング	和田 俊亮
	火力設備 (電気)	谷口 理絵		遠隔モニタリング	木許 将嘉
	契約/予算管理	二宮 哲章		火力設備 (全般)	岡崎 裕之
	水力設備 (全般)	太田 耕一		火力設備 (全般)	木村 智徳
	水力設備 (全般)	柳島 謙太		火力設備 (全般)	Natchapon Luekiatphaisan
	水力設備 (全般)	下方 智徳		火力設備 (全般)	Nootprasert Apichart
	水力設備 (全般)	中 大輔		MHI	契約/予算管理

出典:JICA 調査団



## 第2章 発電所の運転維持・管理体制 一般事項調査結果

### 2.1 発電設備の運営・維持管理に係る法令・規則・マニュアル

発電事業に係る法令は、電力法（Electricity Law 2014）および環境保護法（Environmental Conservation Law 2012）がある。上記法令の内、発電所の運営・維持管理に係る主な内容は以下のとおりであるが、法令を遵守するための特定の基準等は定められていない状況である。

#### (1) Electricity Law 2014 第9章第37条

関係省庁は電気事業における基準と検査方法を指定しなければならないと定められている。

#### (2) Electricity Law 2014 第16章第72条(a)項

電力法に基づく規定を履行するため、関係省庁は、連邦政府の同意を得て規則を発令することができると定められている。この内容を踏まえ、2015年にADBの支援により Electricity Rule が、策定され承認されている。

Electricity Rule では、以下のとおり定められている。

- a. トレーニング・スクールを設置することができる。(3. (xvi))
- b. 大臣は、電力の安全で効率的な供給を促すため、性能基準に関する Regulation を策定せねばならない。(5.)
- c. 大臣は、性能基準を満たさない事業者の設備を撤去できる。(6.)
- d. 大臣は、
  - (a) 発電の安全、信頼性、コスト
  - (b) 発電設備の建設
  - (c) 運転基準
  - (d) 保全スケジュール
  - (e) 電気設備の品質に関する技術基準を策定せねばならない。(8.)
- e. 電力法に基づき、General Inspector (Chief Inspector) は、検査後、発電設備に関する安全認証、品質認証、設置に携わる労働者の技能認証を発行せねばならない。また、生命や設備に危害を与える恐れがある場合は、指導せねばならない。(92.)
- f. General Inspector は、92項で定める検査において、Electricity Law や Electricity Rule に反していることを認めた場合は、大臣に、事業を中止するように、報告せねばならない。上記の Regulation や基準は、現時点では、策定されておらず、有効に機能している様子を現地では、確認できなかった。

#### (3) Environmental Conservation Law 2012 第6章第10条

環境保全を担当している省庁は、連邦政府および委員会の承認を得て、以下の環境品質基準を規定することができる。

- ・ 河川、小川、運河、泉、湿地、湖沼、貯水池、その他の公衆の内水源の河川での使用に適した地表水質基準
- ・ 沿岸域および河口域の水質基準
- ・ 地下水質基準
- ・ 大気品質基準
- ・ 騒音および振動規格
- ・ 排出基準
- ・ 排水基準
- ・ 固形廃棄物基準
- ・ 連邦政府によって規定されたその他の環境品質基準

2.2 設備診断技術、点検保守技術等に係る人材育成体制

発電所所員への計画的な人材育成体制は確立されておらず、ほとんどが OJT によるものである。MOEE は、Paunglaung のトレーニング・スクールにて、設備診断技術や点検保守技術等に関する教育を行っている。主に、水力発電所に関する教育を行っており、火力発電所に関する教育は限定的であり、聞き取りを行った範囲では、参加できた発電所員は無かった。

2016 年 10 月に Paunglaung のトレーニング・スクールで行われた研修での時間割は表 2-1 のとおりである。火力発電所に関する教育では、GE 社が発電設備に関する講義を行っていることが確認できる。

表 2-1 Paunglaung トレーニング・スクール研修時間割

MOEE  
လျှပ်စစ်နှင့်စွမ်းအင်ဝန်ကြီးဌာန  
ပေါင်းစေလောင်းသင်တန်းဌာန  
ဒုတိယညွှန်ကြားရေးမှူးရုံးမှမ်းမံသင်တန်းအချိန်ဇယား  
(၃.၁၀.၂၀၁၆) မေမှ (၁၄.၁၀.၂၀၁၆) မေထိ (ရက်စွဲ ၂) ဝတ်) 31.10.2016 to 14.12.2016 (ရက်စွဲ)

Paunglaung Training School  
Dr. DIRECTOR'S TRAINING

ရက်စွဲ	၉:၀၀ - ၉:၃၀	၉:၃၀ - ၁၀:၃၀	၁၀:၃၀ - ၁၁:၃၀	၁၁:၃၀ - ၁၂:၁၅	၁၂:၁၅ - ၁၃:၁၀	၁၃:၁၀ - ၁၄:၁၀	၁၄:၁၀ - ၁၅:၁၀	၁၅:၁၀ - ၁၅:၃၀
၃-၁၀-၂၀၁၆ (တနင်္လာနေ့)	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ
၄-၁၀-၂၀၁၆ (အင်္ဂါနေ့)	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ
၅-၁၀-၂၀၁၆ (ဗုဒ္ဓဟူးနေ့)	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ
၆-၁၀-၂၀၁၆ (ကြာသပတေးနေ့)	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ
၇-၁၀-၂၀၁၆ (သောကြာနေ့)	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ
၈-၁၀-၂၀၁၆ (စနေနေ့)	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ
၉-၁၀-၂၀၁၆ (တနင်္ဂနွေနေ့)	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ
၁၀-၁၀-၂၀၁၆ (တနင်္လာနေ့)	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ
၁၁-၁၀-၂၀၁၆ (အင်္ဂါနေ့)	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ
၁၂-၁၀-၂၀၁၆ (ဗုဒ္ဓဟူးနေ့)	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ
၁၃-၁၀-၂၀၁၆ (ကြာသပတေးနေ့)	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ
၁၄-၁၀-၂၀၁၆ (သောကြာနေ့)	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ	မှ

出典:EPGE より受領

### 2.3 品質管理・安全管理体制

電力法第7章に、関連省庁は、Chief Inspector（訳例によっては、General Inspector）を選任して、品質管理に当たる旨、定められているが、2.1記載のとおり、品質を規定する関連 Regulation や基準が策定されていないため、有効に働いているさまは、現地では確認できなかった。

### 2.4 部品調達管理

既設発電所の運転・保守に関する部品調達は、発電所の案件毎に管理されており、一定の管理基準はない。調達金額が500万チャット以下の場合、競争入札を実施してEPGEの予算で購入し、決裁権限は以下のとおり定められている。（2019年1月外貨換算レートは1チャット=0.07176円）

- ・30万チャット未満：プラントマネジャー
- ・30～150万チャット：CE
- ・150～300万チャット：EPGE委員会
- ・300万チャット超過：MOEE

### 2.5 文書・記録管理

文書、記録管理の方法は定められておらず、組織改正による執務室移動等により紛失している文書も多数ある。紙資料での保管となっており、過去に作成した資料の保管場所がすぐにわからない状態である。

### 第3章 発電所個別の運転維持・管理体制調査結果

#### 3.1 発電所概要

##### 3.1.1 設備概要

本調査対象である5か所の火力発電所（ティラワ、ローガ、アーロン、イワマ、タケタの各発電所）および1か所の水力発電所（イエイワ発電所）の設備概要を以下に示す。

表 3-1 火力発電所 設備概要(1)

発電所		Thaketa	Hlawga	Ahlon
所在地		9, ward, Ayayarwon Road, Thaketa power station, Thaketa, Yangon, Myanmar	161/2mile, Pyay Road, Mingaladon, Yangon, Myanmar	No.39, Kannar Road, Ahlon Township, Yangon, Myanmar
設備構成		3-3-1 CCGT	3-3-1 CCGT	3-3-1 CCGT
設備容量		92MW	154.2MW	154.2MW
施工者		丸紅-Kawasaki (GT&GEN(Hitachi), ST(Fuji), HRSQ(Kawasaki))	丸紅-Kawasaki (Boiler(Kawasaki), Turbine(ABB))	丸紅-Kawasaki (Boiler(Kawasaki), Turbine(ABB))
運転開始日		G T : 1990年, S T : 1997年	G T : 1995年, 1996年, 1996年, S T : 1999年	G T : 1995年, 1995年, 1995年, S T : 1999年
送電線接続		隣接するタタ変電所 (66kV⇒230kV) に送電	隣接するローガ変電所 (33kV) に送電	隣接するアーロン変電所に送電 (#1, 2, 3GT:33kV, ST:66kV)
ガスタービン	メーカー	GE	GE	GE
	型式	Frame5(PG5361)	Frame6	Frame6 PG6541B
	設計条件	大気温度45℃	大気温度15℃、湿度60%、大気圧1013.25hPa	大気温度15℃、湿度60%、大気圧1013.25hPa
	出力	23.915MW	38.34MW	38.34MW
	燃料性状	Yadana Gas	Yadana Gas, Zawtika Gas	Yadana Gas
	回転数	5,100rpm	5,100rpm	5,100rpm
GT発電機	メーカー	Hitachi	GEC ALSTHOM	GEC ALSTHOM
	型式	FEZBIL	T190-240	T190-240
	出力	23,915kVA	43,000kVA	43,000kVA
	電圧	11.5kV	11kV	11kV
	力率	0.8	0.8	0.8
	回転数	3000rpm	3000rpm	3000rpm
排熱回収ボイラ	メーカー	Kawasaki	Kawasaki	Kawasaki
	型式	Vogt natural circulation	Vogt natural circulation Horizontal gas flow	Vogt natural circulation Horizontal gas flow
	蒸気流量	44.05 t/h	67.3 t/h	67.3 t/h
	蒸気温度	470 ℃	485 ℃	485 ℃
	蒸気圧力	52.0 kg/cm2	42.9 ata	42.9 ata
	給水温度	56.5℃	54.5 ℃	54.5 ℃
バイパスタック	有り	有り	有り	
蒸気タービン	メーカー	Fuji Electric	ABB	ABB
	型式	Single Casing Condensing	Inpulse, multi-stage, condensing	Inpulse, multi-stage, condensing
	出力	34.9MW	56.65 MW	56.65 MW
	回転数	3000rpm	3,000 rpm	3,000 rpm
	蒸気流量	131.69t/h	216 t/h	216 t/h
	蒸気温度	468℃	464 ℃	464 ℃
ST発電機	メーカー	Fuji Electric	MEIDENSHA	MEIDENSHA
	型式	FTLR1484/55-2	TIC-AFT	TIC-AFT
	出力	43,625kVA	67,875 kVA	67,875 kVA
	電圧	11.5kV	11kV	11kV
	力率	0.8	0.8	0.8
	回転数	3000rpm	3000rpm	3000rpm
主変圧器	メーカー	GT:Hitachi / ST:EKARAT-DAIHEN	GT:ALSTHOM / ST:MEIDEN	#1 ASIA GENERAL ELECTRIC/#2 GEC ALSTOM/ #3 ALSTHOM SHANGHI TRANSFORMER/ ST MEIDEN
	型式	Three Phase Power Transformer	GT:TTHRV / ST:BORS-D-A	Oil Immersed conserator/Set-up/SF9-47500 36/BORS-D-A
	容量	GT: 31MVA / ST:44MVA	GT:47.5MVA / ST:56/70MVA	GT: 35/47.5 / ST:56/70 MVA
	電圧	11kV/66kV	GT:36/11kV / ST:33/11kV	GT:36/11kV ST:66/11kV
	冷却方式	GT: ONAN / ST: ONAF	GT:ONAF / ST: ONAN/ONAF	ONAN/ONAF
復水器	メーカー	HOLTEC ITERNATIONAL	EDI (Evans Deakin Engineering)	EDI (Evans Deakin Engineering)
	型式	表面冷却型 (シェル&チューブ型)	表面冷却型 (シェル&チューブ型)	表面冷却型 (シェル&チューブ型)
	蒸気流量	131.72t/h	216t/h	216t/h
冷却塔	冷却水流量	9750m3/hr	4,165kg/s	4,165kg/s
	容量	10000m3/h	15,340 m3/h	15,340 m3/h
水処理設備	冷却ファン台数	4台	4台	4台
	処理能力	120 m3/day	120 m3/day	120 m3/day
	型式	Reverse Osmosis	二段階逆浸透装置	二段階逆浸透装置
	使用薬品	塩素処理(NaOCl)、PH調整 (Na3PO4、NH4OH)、酸化防止剤 (Na2SO4)	塩素処理 (NaOCl)、凝集処理 (FeCl3)、還元、PH調整 (SBS)、PH調整 (H2SO4)	塩素処理 (NaOCl)、凝集処理 (FeCl3)、還元、PH調整 (SBS)、PH調整 (H2SO4)
設計値 (導電率、シリカ等)	導電率 10 μS/cm以下 シリカ 0.5 ppm以下	導電率 10 μS/cm以下 シリカ 0.5 ppm以下	導電率 10 μS/cm以下 シリカ 0.5 ppm以下	

出典:JICA 調査団

表 3-2 火力発電所 設備概要(2)

発電所		Ywama			Thilawa
所在地		ywama west ward, Insein Township, Ywama power plant, Yangon, Myanmar			Kyaunktan Township, Yangon, Myanmar
設備構成		GT(F5) シンプルサイクル 2基	GT(M701D) シンプルサイクル 2基	GT(H-25) 1-1-1 CCGT	GT: 2基のシンプルサイクル
設備容量		36.9MW	240MW	33.4 MW	50MW
施工者		JBE	MHPS	MHPS	住友商事- MHPS
運転開始日		1980年	2014年	2004年	2016年
送電線接続		33kV母線に接続 33kVループ母線から各負荷へ配電	230kV BUSに接続 Hlalngharyar Line	33kV母線に接続 33kVループ母線から各負荷へ配電	隣接するティラワ変電所 (33kV) に送電
ガスタービン	メーカー	GE	MHPS	MHPS	日立
	型式	Frame5	M701D	H-25(28)	H-25 C32
	設計条件	大気温度95F	大気温度32.7℃	大気温度30℃	大気温度30℃
	出力	23.210MW	122.95MW	24MW	30.27MW
	燃料性状	Yadana	Yadana	-	Yadana Gas, Zawtika Gas
GT発電機	回転数	5,094rpm	3,000rpm	7,280rpm	7,258 rpm
	メーカー	BRUSH	三菱電機	MEIDENSHA	BRUSH/HMA
	型式	BDAX 7084	MB-H	EP-AIT	DG215ZC-04
	出力	25,000kVA	181,820kVA	28,300kVA	39,090kVA
	電圧	11kV	13.8kV	11kV	11kV
排熱回収ボイラ	力率	0.8	0.85	0.85	0.8
	回転数	3000rpm	3000rpm	3000rpm	1500rpm
	メーカー	-	-	BABCOCK HITACHI K.K.	-
	型式	-	-	Single Pressure, Horizontal Gas Flow	-
	蒸気流量	-	-	42.9 t/h	-
	蒸気温度	-	-	469 ℃	-
	蒸気圧力	-	-	4.0 Mpa	-
給水温度	-	-	不明	-	
バイパスタック	-	-	無し	-	
蒸気タービン	メーカー	-	-	Shin-Nippon Zoki	-
	型式	-	-	C6-R7-R	-
	出力	-	-	9.4MW	-
	回転数	-	-	7778rpm	-
	蒸気流量	-	-	不明	-
	蒸気温度	-	-	466 ℃	-
	蒸気圧力	-	-	3.7MPa	-
ST発電機	メーカー	-	-	MEIDENSHA	-
	型式	-	-	EP-AFT	-
	出力	-	-	10,500kVA	-
	電圧	-	-	11kV	-
	力率	-	-	0.9	-
	回転数	-	-	1500rpm	-
主変圧器	メーカー	YORKSHIRE ELECTRIC	Mitsubishi ELECTRIC	FORTUNE ELECTRIC	HYOSUNG
	型式	Three Phase Power Transformer	SRB Three Phase Shell type	SRB Three Phase Core type	Three Phase Power Transformer
	容量	18.75/25 MVA	104/138/172 MVA	28 MVA	51/51/3MVA
	電圧	33/11 kV	241.5/13.8 kV	33/11 kV	33/11/6.75kV
	冷却方式	ONAN/ONAF	OA/FA/FA	ONAF	ONAF
復水器	メーカー	-	-	HITACHI	-
	型式	-	-	表面冷却型 (シエル&チューブ型)	-
	蒸気流量	-	-	不明	-
	冷却水流量	-	-	2060m3/h	-
冷却塔	容量	-	-	460,000kg/h	-
	冷却ファン台数	-	-	3台	-
水処理設備	処理能力	-	-	-	480 m3/day
	型式	-	-	-	逆浸透連続式電気脱イオン装置
	使用薬品	-	-	-	-
	設計値 (導電率、シリカ等)	-	-	-	TDS 2.0 mg/L pH 7~8.5 導電率 10 μS/cm以下

出典:JICA 調査団

表 3-3 水力発電所 設備概要

発電所		Yeywa
所在地		Yeyemen village, Kyaukse Township, Mandalay Division, Myanmar
設備構成		タービン4機 ダム式
設備容量		3550 GWh (公称年間発電量)
施工者		Electromechanical: CITIC & CCYW Hydraulic Steel Structures: CITIC&CCYW、CNEEC Transmission Lines&S/S: CHMC
運転開始日		2010年
送電線接続		230kVに接続 Belin, Meiktila Lineに送電
水力	最大発電量	780[MWh]@Sep. 2014
	年間発電量 (公称/実績)	3550[GWh] / 2581[GWh]
	発電方式	ダム式
	集水地域	2,780,00m3
	河川名	Myitnge River
	最大使用水量	840m3/s
	ダム/せき	RCC dam (Length/Height=690/132m)
タービン	有効水頭	91m
	タービン型	フランス式水車
	メーカー	SINOHYDRO
	機種	HLV180-LJ-492
	タービンサイズ	49.20 dm
	回転速度	142.86rpm
	定格放水量	213.7m3 / s
	回転 (上から見る)	時計回り
	定格水頭	91.7 m
	最小水頭	69.0m
	最大水頭	106.3m
	定格出力	178.5 MW
	最大出力	199.4MW
	瞬間最大出力	219.4 MW
最大取水水位	196.5m	
最大放水水位	95.8m	
発電機	メーカー	SINOHYDRO
	型式	1DH7951-3WE21-Z
	定格出力	230 MVA
	最大出力	255 MVA
	定格電圧	16 kV
	力率	0.85
	定格電流	8299 A
	周波数	50 Hz
	定格回転数	142.9 rpm
	オーバースピード	285.0 rpm
	設置標高 (海拔)	84.36 m
	定格励磁電流 (IFN)	2444 A
	無負荷励磁電流 (IFO)	1380 A
	定格励振電圧	130℃(at 234 V)
	励起のタイプ	静止励磁
	定格出力での最大巻線温度	固定子/回転子80/90℃
最大出力での最大巻線温度	固定子/回転子100/115℃	

出典: JICA 調査団

発電所構内には、水質、潤滑油、制御油、燃料管理等に伴う化学分析室は設置されていないことが確認された。

純水装置については、一部の発電所では、制御盤用の建屋（屋根のみのプレハブ型含む）が設置しており、ポータル計器での水質確認を行っていることが確認できた。

第1回現地調査時の各発電所稼動状況は以下のとおり。

表 3-4 各発電所 稼動状況

発電所名	形式		運開	定格出力(MW)		第1回現地調査時の運転状況 (2018.8~9)		
				機器別	合計			
タケタ CCGT	#1GT	F5 3on1	1990	19	92	0MW	0MW	雨季による停止（給電指令）
	#2GT			19		0MW		IGV重損傷による（2015.11~）
	#3GT			19		0MW		雨季による停止（給電指令）
	ST	1997	35	0MW	ST,GEN軸受損傷による（停止時期不明）			
イワマ GT	#1GT	F5	1980	18.45	36.9	0MW	8MW	分解点検中（Upgrade後の圧縮機損傷による対応）
	#2GT	F5		18.45		8MW		雨季による出力制限（給電指令）
	GT	H25	2004	24	33.4	0MW	0MW	2段動翼損傷による（2014~）
	ST			9.4		0MW		上記による
	#1GT	M701D	2014	120	240	0MW	80MW	圧縮機サージング損傷による（2018.7~）
	#2GT	M701D	2014	120		80MW		GEN軸受メタル温度上昇のため（時期不明）
ローガ CCGT	#1GT	F6 3on1	1996	33.3	154.2	22MW	51MW	雨季による出力制限（給電指令）
	#2GT			33.3		22MW		雨季による出力制限（給電指令）
	#3GT			33.3		0MW		発電機地絡により停止（時期不明）
	ST	1999	54.3	7MW	GT部分負荷によるST部分負荷			
アーロン CCGT	#1GT	F6 3on1	1995	33.3	154.2	20MW	68MW	雨季による出力制限（給電指令）
	#2GT			33.3		23MW		雨季による出力制限（給電指令）
	#3GT			33.3		25MW		雨季による出力制限（給電指令）
	ST	1997	54.3	0MW	#1~3HRSGチューブ漏れによる（2018.3~）			
ティラワ GT	#1GT	H25×2	2015	25	50	0MW	15MW	雨季による停止（給電指令）
	#2GT			25		15MW		雨季による出力制限（給電指令）
エイウ	水力 フランス水車		2010	197.5	790	167MW	670MW	給電指令
				197.5		177MW		給電指令
				197.5		159MW		給電指令
				197.5		167MW		給電指令

出典:JICA 調査団

### 3.1.2 運営体制

各火力発電所の職員数は以下のとおり。

日本国内では、変電所の保守は、送配電部門にて実施されているが、ミ国では、発電所員が実施している。国内発電所では、出力・設備構成により異なるが、3-3-1CCGT×2unitの発電所を110人程度で運営している。

表 3-5 発電所運営体制

発電所	タタ	ローガ	アーロン	イマ			ティラワ
設備構成	3-3-1 CCGT	3-3-1 CCGT	3-3-1 CCGT	GT(F5) シンプルサイクル2基	GT(M701D) シンプルサイクル2基	GT(H-25) 1-1-1 CCGT	GT (H25) シンプルサイクル2基
設備容量	92MW	154.2MW	154.2MW	36.9MW	240MW	33.4 MW	50MW
変電所保守	有り	無し	無し	有り			有り
職員数	107人	100人	90人	151人			92人
当直体制	2シフト4班	2シフト4班	2シフト4班	2シフト4班			1シフト4班
人数/シフト	8~9人	8人	8~10人	16人			10人

出典:JICA 調査団

一例として、ローガ発電所の組織図を以下に示す。

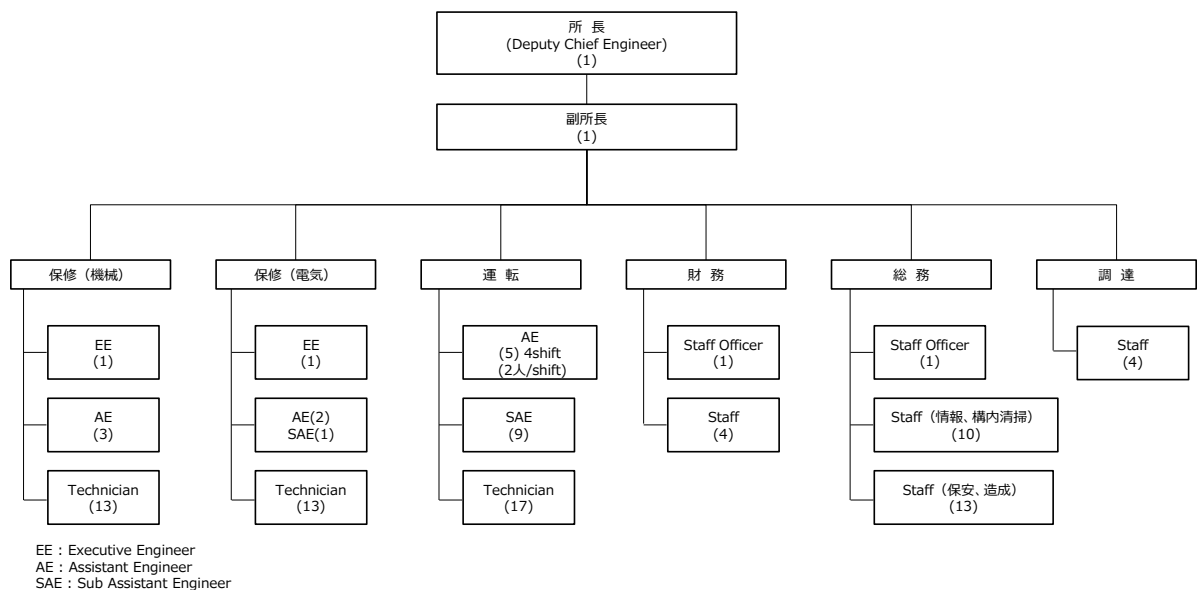


図 3-1 ローガ発電所 組織図

発電所組織は所長以下、保守（機械・電気）部、運転部、財務部、総務部、調達部で構成されている。各部門の役割を以下に示す。発電所によって組織図は多少異なるものの、基本的な構成は同様とみなすことができる。



表 3-6 部門の役割

部 門		役 割
保 修	機 械	機械設備の保守 機器状態確認、補修、水補給、油補給、振動測定
	電 気	電気設備の保守 変圧器、開閉所、蓄電池、保安照明等 状態確認・保守
運 転	AE	運転管理
	SAE	GT、STG、ボイラーの運転・監視
	Technician	BOP運転・監視 日常機器点検、記録採取
財 務		給与・賃金管理、予算管理、給与・年金支給管理
総 務	庶務	庶務管理
	情報	公式データの記録・報告、機器データの記録
	清掃	制御室、打合室、執務室の清掃・管理
	保安・造成	正門、入出門、取水部の保安、管理
調 達	調達計画	機材調達、管理、月例報告

出典:JICA 調査団

### 3.1.3 運転・維持管理の状況

#### (1) 火力発電所の運転・維持管理

発電所の運転、維持管理に関するマニュアル類は整備されておらず、運転方法に関しては建設時の完成図書等のメーカーマニュアルを用いて実施している。

運転・保守に関する教育は、水力発電所では研修センター(Paunglaung)による研修が行われているが、火力発電所に関しては、研修センター・設備が十分でなく、チーフエンジニアによるOJTにより行われており、技術習得、技能向上の機会は限られている。

運転員の配置、技能確認は発電所長の判断により行われており、技能レベル管理、教育実績等の記録は行われていない。

マニュアル類がなく、発電所員に対する教育が十分に行われていないことから、技術力不足により、適切な運転・維持管理が行われておらず、設備の損傷、出力・効率低下が発生している。

運転データ、保守、事故時対応はログブックやEPGEへの報告書に記録されているが、保守・事故対応については、記載項目、報告対象となる事象が明確には定められておらず、事象ごとに保守責任者または記録者が判断している。

このため、事故原因の分析、再発防止対策が十分に実施できていない。

また、EPGEから「Dispatch Optimization」というテーマの元で改善検討して欲しいとのことで招待を受け、EPGE本部に位置するNCC(中央制御所)とGCC(発電指令所)を視察した。視察結果として、NCCには最新鋭の中央制御システムが設置されているも、GCCは未だ手書きによる給電指令・管理を行っているのが現状であり、日本のようなメリットオーダーに基づく最適デジタル給電指令システムは導入できていない事も確認できた。

(2) 水力発電所の運転・維持管理

イエイワ発電所は約 15 億 m<sup>3</sup> の貯水量を持ち、その貯水池の特性を活かし雨季に溜め込んだ水を、乾季に使用し発電することで、乾季の電気需要を賄う重要なベースロード電源である。しかし、運転開始から 2016 年までのイエイワ発電所の平均発電量は 2,637GWh であり、イエイワ発電所の設計年間発電電力量 3,550GWh に対して約 75%しか発電できていない。設計通りの発電が出来ていない原因として、以下の 2 点が挙げられる。

- a. 送電線の容量が足りず使用水量を絞って発電していること
- b. 効率的な貯水池の運用が出来ていないこと

送電線の容量に関しては政府主導で 500kV 送電線の建設計画が進められており、2021 年には完成が予定されている。そのため、今回は効率的な貯水池の運用についてレポートすると共に、より貯水池運用を高度化するために、洪水や流入量予測技術についても提案する。

始めに現在の貯水池運用を示す。図 3-2 は 2011 年 1 月から 2013 年 4 月までのイエイワダム水位および流量を示したものである。上の図の縦軸はダム水位、下の図の縦軸は流量を示す。下の図の青線が流入量を、ピンク線が放流量を示す。

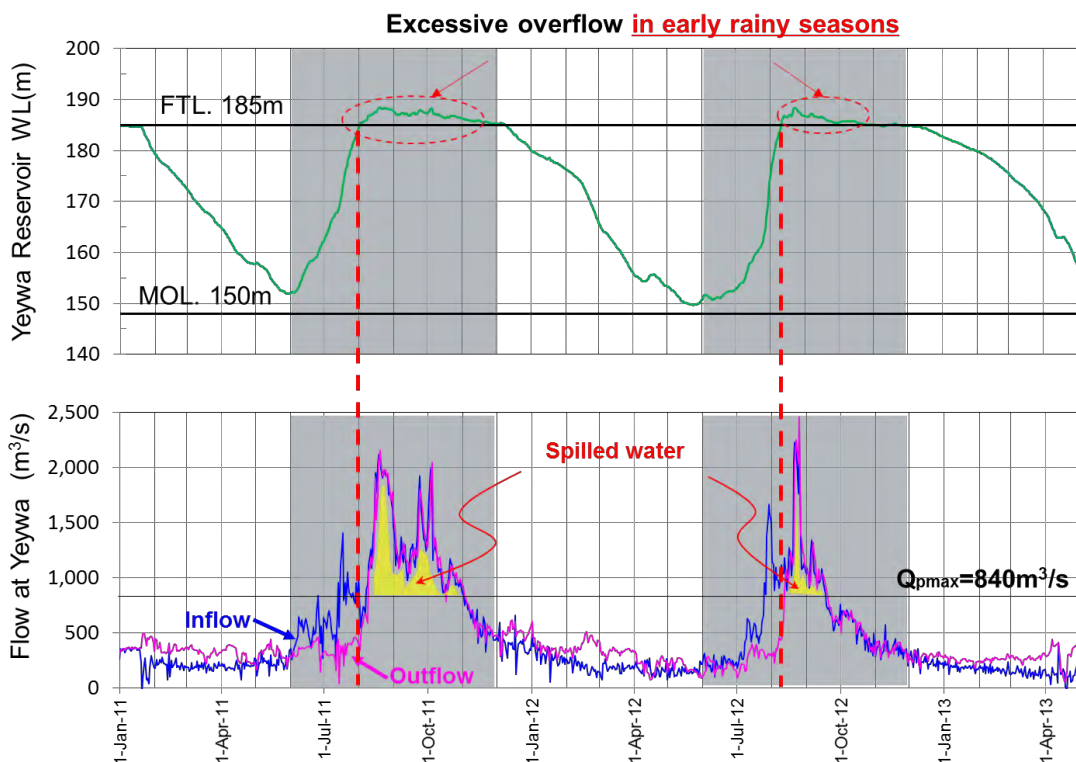


図 3-2 現在のダム運用

出典:JICA 調査団

現在の運用では、雨季初めに増加する流入量を、水位を高く保つために、発電放流を抑制して、貯水池に貯め込んでいる。それにより、雨季の間も高水位での運用が可能であるが、雨季初めの 3 ヶ月で水位を上昇させて常時満水位 (FTL) の EL. 185m を維持している。結果、8 月から 11 月までに最大使用水量を超える流入量があると洪水吐から無効放流することとなり、雨季の間中、かなりの頻度で

逸水している。また、雨季までに最低運用水位（MOL）のEL. 150mまで水位が下がらず、貯水池の水を乾季中に使い切れていない。

当該地点の雨季では、流入量が使用最大水量（ $Q_{max}$ ）840m<sup>3</sup>/sより大きくなることが多い。貯水池水位が常時満水位EL. 185mを維持している状況では、最大使用水量（ $Q_{max}$ ）840m<sup>3</sup>/sで発電した場合でも、それを超える流入量がある場合、その超過量は、図3-2の黄色ハッチングで示した通り、全て洪水吐からの無効放流となり、年間の総発電電力量が減少してしまう。無効放流を減じるためには、雨季の間に流入量が増加しても十分に貯水できるようにダム水位を十分に下げておく必要がある。無効放流の少ない効率的な運用をすることでこの水は発電に使用することができ、発電電力量を増加させることが可能である。

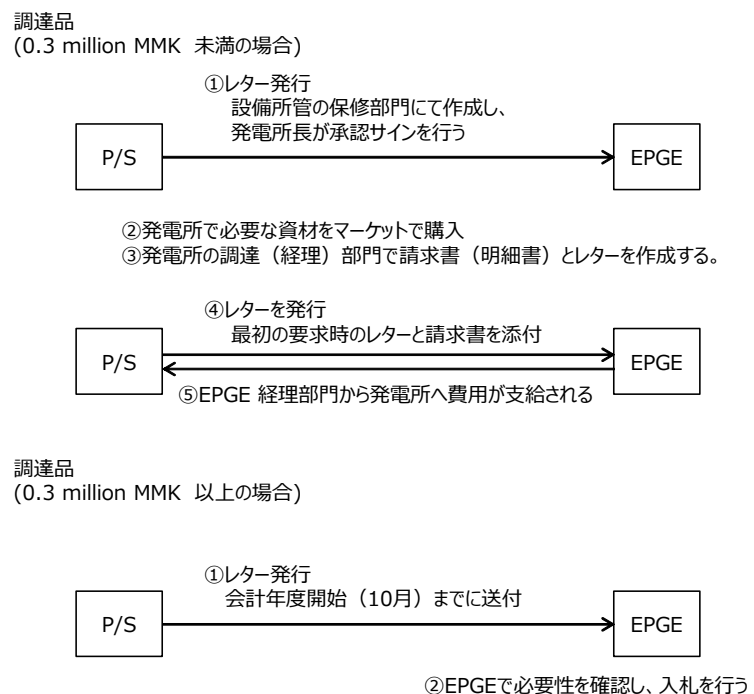
### 3.1.4 部品調達状況

必要な部品、薬剤・潤滑油等の消耗品については、発電所の調達部門がEPGEに調達品希望リストを提出して要求する。

予算については、EPGE本部が管理しているため、基本的に全ての調達についてEPGEへの申請（0.3million MMK未满是発電所長権限にて実施が可能）や承認が必要となる。

全発電所で必要となる潤滑油に関しては、EPGEで一括購入して、各発電所に配分している。EPGEは、発注する際には、要求仕様を明示し入札する。現在は韓国-Michangの潤滑油を使用している。

納入された物品の品質管理（確認）のルールは定められておらず、品質確認は実施されていない。



出典:JICA 調査団

図 3-3 資材調達 概略フロー

### 3.2 日常運営

#### 3.2.1 運営体制

3.1.2 運営体制 表 3-5 発電所運営体制で示したように、日常運営については2シフト4班体制を基本としている。2シフトの時間は昼シフト8:00~17:00、夜シフト17:00~8:00を基本としながら、各発電所で個別に運用している。

ティラワ発電所においては1シフト4班体制であるが、職員宿舎を建設中であり、完成後は2シフト体制に変更する予定である。

運転員は、中央制御室で監視画面から、1時間毎の発電量、電流、電圧、振動、各種温度を手書きで運転データシートに記録している。

また、制御装置に取り込んでいないデータについても、定期的(1時間毎)に現地計器の値を記録できるように、人員を配置している。

BOP関係についても、人員を配置し、pH、導電率等の水質を記録している。

このように、運転員、現場巡回員の業務は、記録採取が主となっている。

#### 3.2.2 発電に係る定量的記録

発電量、ガス消費量日報、月報、年報をEPGEに提出しているが、記録したデータに基づく熱効率管理等は実施出来ていない。ヤンゴン管内の発電所の日々のデータ(MW, MWh, ガス圧力, ガス使用量)は、ローガ発電所で集約して、EPGEにFAXで報告している。

運転データ記録様式は各発電所長が必要なデータを考慮して作成したものを使用している。一部の発電所では、建設時にメーカーが使用していた記録様式を活用している事例もあり、メーカー推奨の場合は管理値・計画値等を記載しているケースもあった。

ログブックおよび記録様式は電子化されず、紙ベースで保管されており、一部の発電所では台風により文書の多くが失われる事象も発生している。

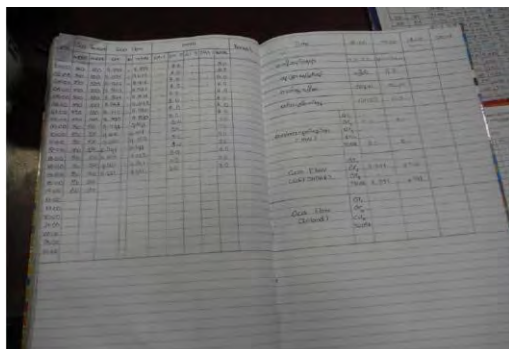


図 3-4 ログブック

YWAMA GAS TURBINE POWER PLANT																						
LOG SHEET NO 1 OF 5 DCIS												MITSUBISHI GT Use		Date: _____								
TIME	GT GENERATOR				TCA COOL TEMP				DISC CAVITY TEMP				LUBRICATION TEMP				GT VIBRATION				REMARK	
	ACTIVE POWER	REACTIVE POWER	POWER FACTOR	DISC CURRENT	DISC VOLTAGE	DISC FREQUENCY	DISC TORQUE	DISC CURRENT	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	#1	#2		#3
MW	MA	DA	DE	DE	DE	DE	DE	A	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
0:00																						
2:00																						
4:00																						
6:00																						
8:00																						
10:00																						
12:00																						
14:00																						
16:00																						
18:00																						
20:00																						
22:00																						
24:00																						

図 3-5 発電データ記録様式

出典:EPGE より受領

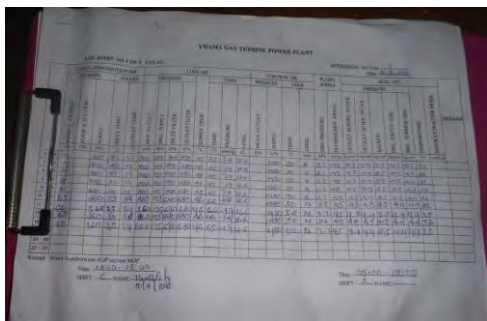


図 3-6 発電データ記録

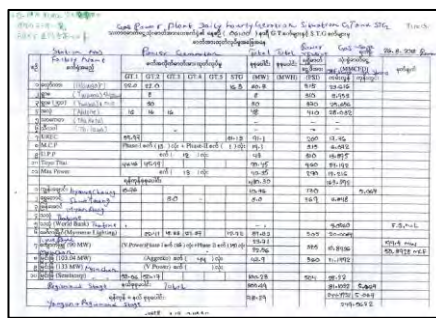


図 3-7 ヤンゴン管内火力発電所運転データ報告  
出典:EPGEより受領

### 3.2.3 運転・維持管理の実績記録

運転記録は各種ログブックに記録されている。ログブックの様式は特に定められておらず、各発電所で一般的なノートを活用して、必要事項を記載している。

表 3-7 ログブック分類

種別	記載内容
運転 ログブック	当直の引継ぎ日誌として活用 当直メンバー、引継者、LDCからの指令内容を記載 発電機が水素ガス冷却式であるイワマ発電所では、重要事項として水素ガス純度を記載
メンテナンス ログブック	保修部門が不具合事象および補修実績を記載 補修内容等の詳細については記載されていない 同じログブックであっても、担当者によって記載する基準が異なり不具合内容の詳細がわからない場合がある
機器点検 ログブック	発電出力、油面レベル、油温度、油漏れの有無、巻線温度、クーリングファン運転台数、GCBガス圧力、ガス漏れの有無等を記載 ※発電所によっては運転データ記録シートとは別にログブックを使用している場合がある

出典:JICA調査団

### 3.2.4 スペアパーツの保管管理

スペアパーツは各現地の倉庫に一定量保管されており、在庫リスト(紙 または Excel Data)も保有している。ただし、在庫管理システム等は適用されておらず、旧品と新品が混在している状況であり整理・整頓はされていない。尚、高価なガスタービン高温部品の在庫管理は表 3-8の通りであり、無駄なコストが発生している可能性が高い。また、図 3-8、図 3-9のように、発電設備のリハビリ、アップグレード後の中長期的な運用を見越した部品の取り回し計画が適切になされていないが故に、互換性の無いオリジナル部品が遊休在庫化してしまっている状況にある。

表 3-8 高温部品管理状況

	数量管理	寿命管理	互換性管理
高温部品管理状況	△	×	△
問題点	各発電所で実施しているが、取外品は使用可否・数量ともに不明。	各部品の運転時間管理は実施されていない為、補修可否が不明。補修可能部品が無駄に廃却になっている可能性有。	効率・出力改良改善されたタービンに対してオリジナルの高温部品の在庫を所持しており、互換性管理が不明瞭。

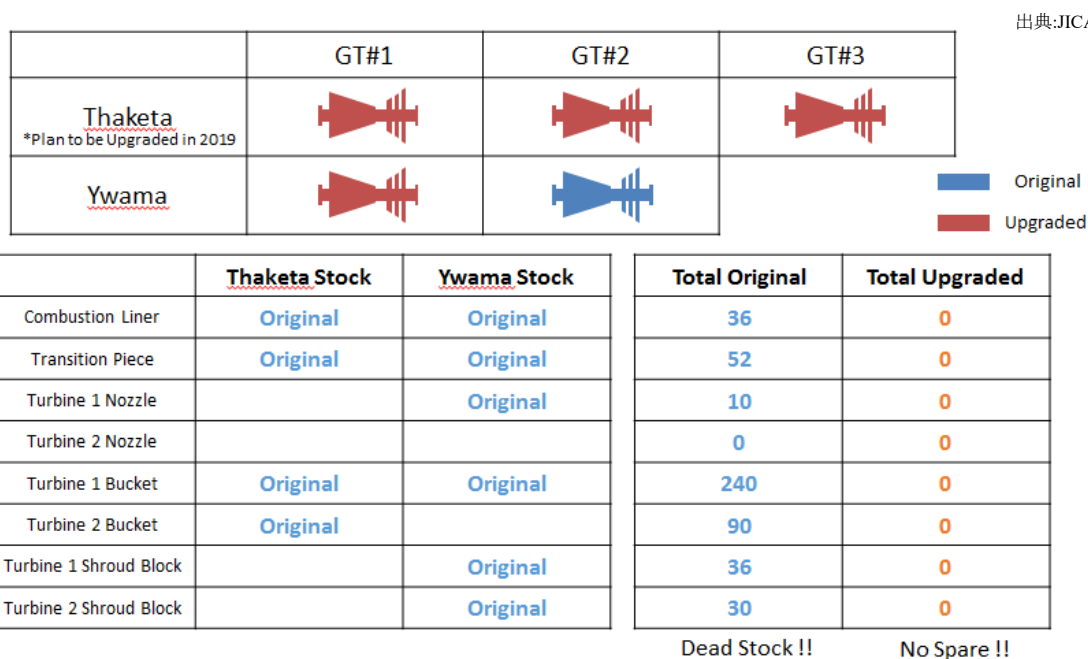


図 3-8 Frame5 ガスタービン Upgrade・在庫仕様情報

出典:JICA 調査団

	GT#1	GT#2	GT#3	
Ahlonge				Original Upgraded
Hlawga			*Plan to be Upgraded in 2019	

	Ahlonge Stock	Hlawga Stock	Total Original	Total Upgraded
Combustion Liner	Original	Original	18	0
Transition Piece			0	0
Turbine 1 Nozzle			0	0
Turbine 2 Nozzle	Original		16	0
Turbine 3 Nozzle			0	0
Turbine 1 Bucket	Upgraded	Original	92	92
Turbine 2 Bucket	Upgraded	Original	92	92
Turbine 3 Bucket		Original	92	0
Turbine 1 Shroud Block	Original		18	0
Turbine 2 Shroud Block	Original		36	0
Turbine 3 Shroud Block	Original	Original	45	0

Dead Stock !!

出典:JICA 調査団

図 3-9 Frame6 ガスタービン Upgrade・在庫仕様情報

尚、本部は各発電所の在庫リストを把握しており(回/6 ヶ月の監査用に各発電所から本部に提出)、必要に応じてプラント間の取り回しは実施している。また、新しい部品が必要な場合は必要部品リストを発電所で作成し、本部に伺いを実施し予算見合いで必要な部品購入は本部/EPGE 総裁にて最終決定される。各発電所ではサードパーティの在庫品も散見されており、稼働率低下の一因になっている可能性もある。

စဉ်	အမှတ်အသား	အမည်အမျိုးအစား	အမျိုးအစား	ယူဆသော ထုတ်ကုန်	ရရှိ သည့်	ထုတ်ကုန်	Contract No.	မှတ်ချက်
150	GTS205	COMPOUND ANTI- SEIZE (P.No-287A1297P001)	EA	6		6 ✓	Contract-REPUR(GT) 16-17	အစိတ်အပိုင်း
151	GTS205(A)	KEYTING COMPOUND SET (P.No-301871115)	ST	2		2 ✓		
152	GTS205(B)	XEIRE TUBE MS6001, FEMALE (P.No-178C0509002)	EA	10		10 ✓		
153	GTS205(C)	6001B TRANS PIECE (P.No-110E23730007)	EA	10		10 ✓		
154	GTS205(D)	CAP & LNR MS6001 (P.No-899E01160024)	EA	4		4 ✓		
155	GTS205(E)	CAP & LNR MS6001 (P.No-899E01160025)	EA	2		2 ✓		
156	GTS205(F)	CAP & LNR MS6001 (P.No-899E01160026)	EA	3		3 ✓		
157	GTS205(G)	CAP & LNR MS6001 (P.No-899E01160027)	EA	1		1 ✓		
158	GTS205(H)	SHROUD SET, 6001 STG1 P/B (P.No-329A3290001)	ST	2		2 ✓		
159	GTS205(I)	SHROUD SET, 6001 2ND STG (P.No-329A3290002)	ST	2		2 ✓		
160	GTS205(J)	SHROUD SET, 6001 3RD STG (P.No-329A3290003)	ST	2		2 ✓		
161	GTS205(K)	SCREW, 12PT ALY STL (P.No-87338P35002)	EA	10		10 ✓		

図 3-10 在庫リスト 出典:EPGE より受領



図 3-11 部品倉庫

### 3.2.5 事故・異常時の対応と記録管理

事故発生時は、事故速報(発電支障の状況)を発電所から本部に送り、本部が停止工事を許可し、事故対応を開始するような業務プロセスとなっている。紙ベースでのやり取りになっており、情報の蓄

積がされていない、且つ、不具合に対しての原因究明対応等を実施されない為、同様の事故が繰り返して発生しているケースが散見される。事故が繰り返される要因としては、①O&M改善の為のPDCAが管理されていない事、②O&M予算が不足し承認プロセス複雑である事、③電力供給が逼迫し、発電設備の定期点検の為のShutdownが承認されない事、などが想定される。具体的には下記の事例が確認できた。

(1) アーロン発電所 (CCGT / 3 on 1)

= GT#1 : #2 BRG 振動高事象 =

2018年9月頃に振動高アラームを確認し、2018年11月にHGPI+軸受交換工事を実施したが、振動高事象は直らず2018年12月でも振動はアラームレベルでプラント運用中。

= GT#1, 3 : #2 BRG メタル損傷事象 =

2016年7月にGT#3の点検にて#2軸受に損傷が見つかり、同じ様な損傷がGT#1の2018年11月の点検での発見。

(2) ローガ発電所 (CCGT / 3 on 1)

= GT#1, 3 : 発電機地絡事故=

発電所での聴取、及び運転記録によると、GT#1 2016年4月、GT#3 2015年3月に発電機地絡事故が発生。

(3) イワマ発電所 (701D X 2)

=701D GT#1, 2 : 吸気フィルタ詰まり=

発電所での聴取、及び運転記録によると、GT#1 2018年2月(\*その後、圧縮機サージ事故発生)、GT#2 2018年8月に吸気フィルタの詰まり事象発生。

大きなトラブルの場合、他発電所の所長がトラブル発生プラントに来て状況を確認し共有することはあるが、原因分析が不十分であるため、事故の発生を防止することはできていない。また、各発電所がOEMと直接やり取りすることは、本部が禁止しており、(制裁の影響で、OEMとやり取りが禁止されていた時期の名残もあるとの意見もあり)、必要に応じて本部がOEMと連絡を取っている。

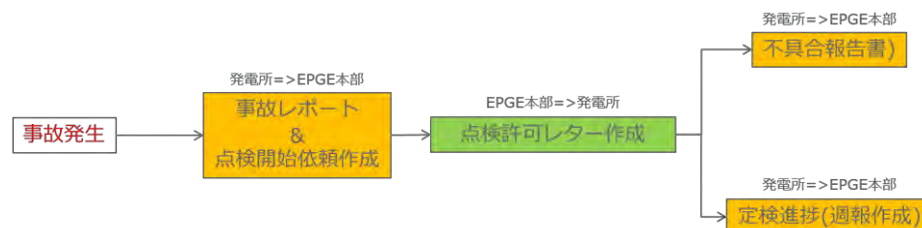


図 3-12 事故後のレポートインゲルルート

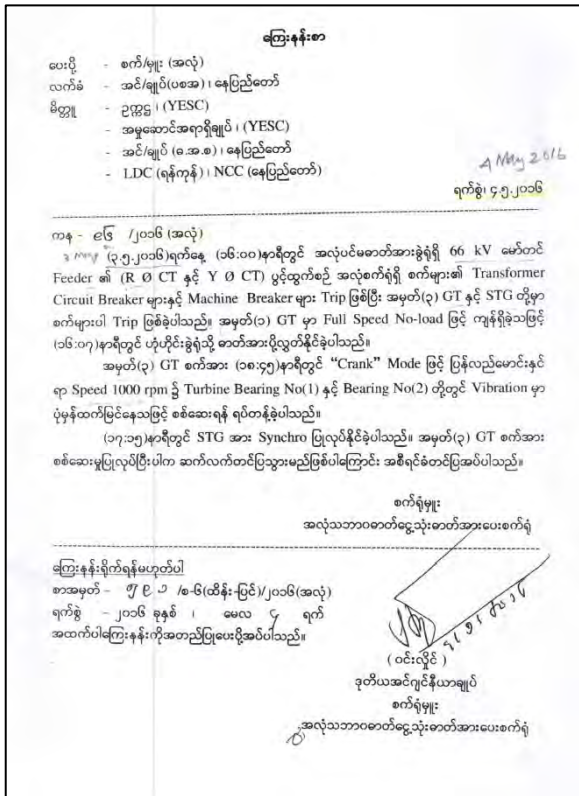
出典:JICA 調査団

下記に実際に Ahlone 発電所 GT#3 で発生した軸振動大対策時に発行されたレターを下記に添付する。

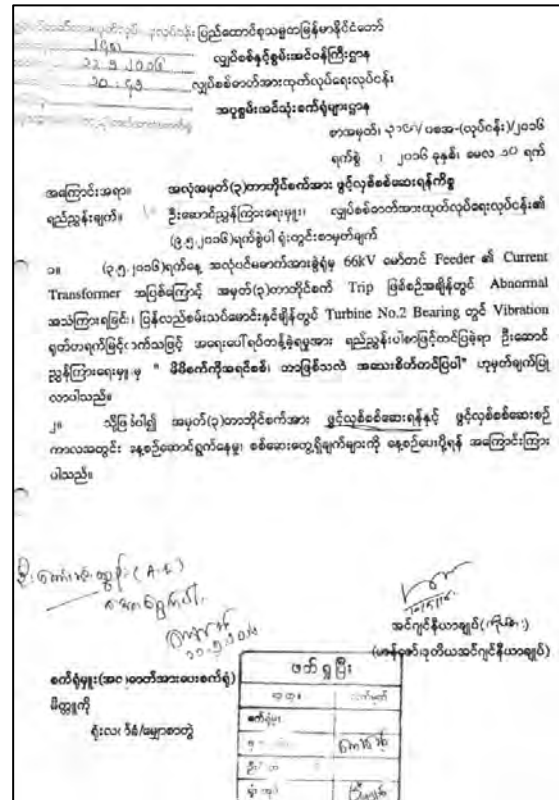
図 3-13 は発電所から本部へ提出されたレターであり、運転中に#2BRG の軸振動大で停止した為、点検をしたい旨が記載されている。その後、

図 3-14 に記載されているように、本部から#2BRG の点検許可が出されている。





出典:EPGE より受領

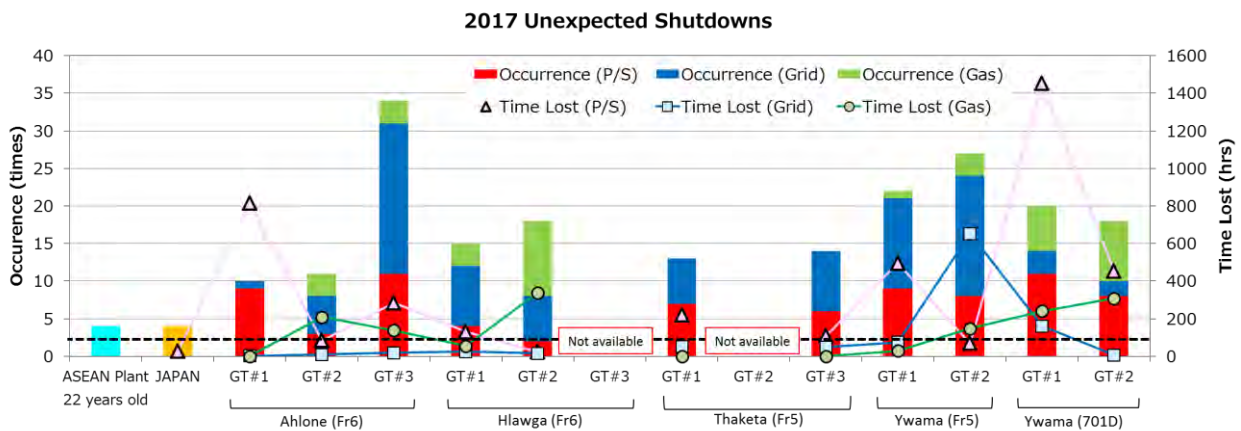


出典:EPGE より受領

図 3-13 事故速報レポート(発電所=>本部)

図 3-14 事故対応許可レター(本部=>発電所)

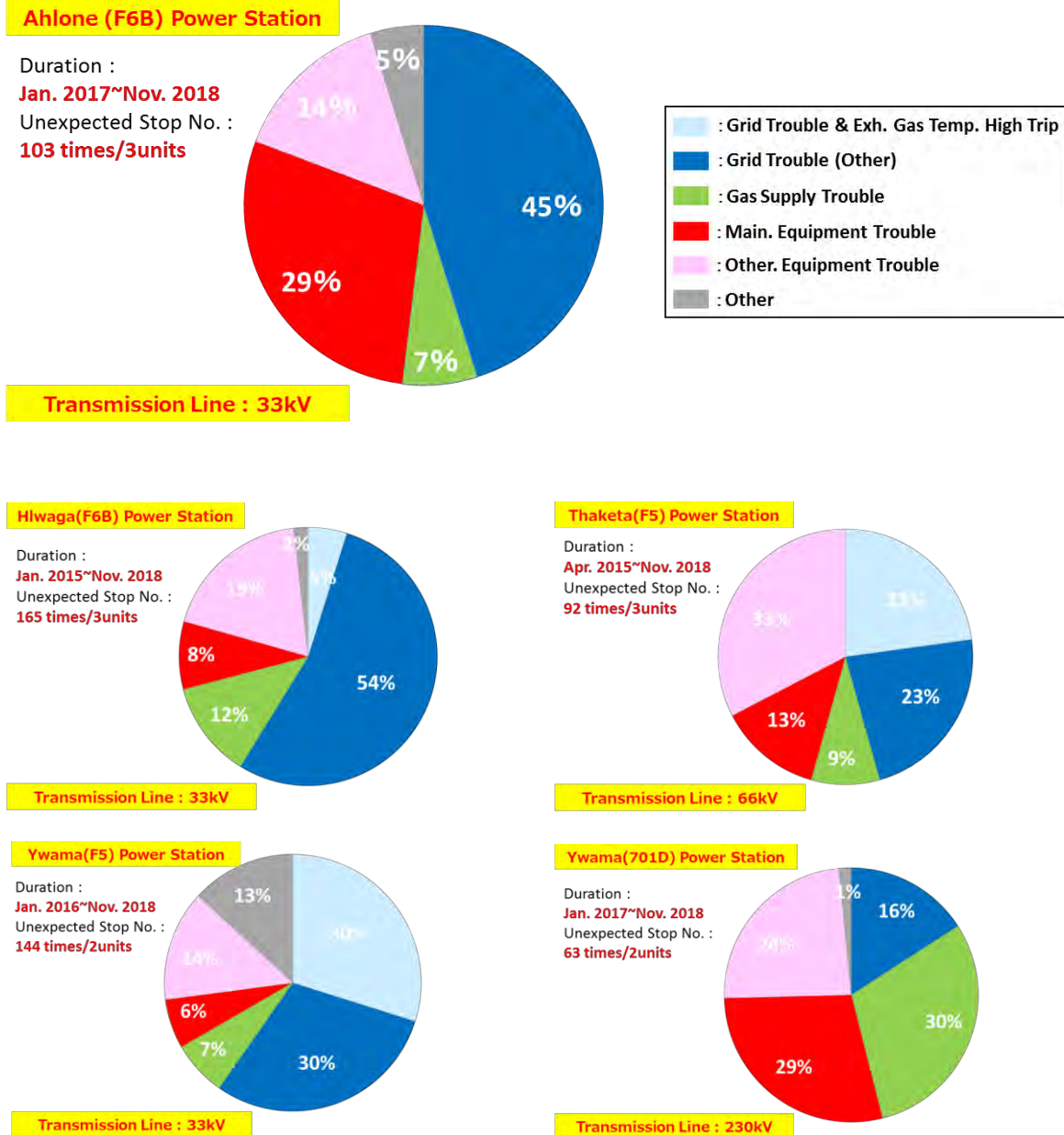
各発電所のログブックより、2017年の1年間の計画外停止を発電所毎に整理し、日本での発電所、同じ期間使用した ASEAN エリアでの発電所の計画外停止回数と時間を比較した結果を図 3-15 に示す。以下の図 3-15 から判るように、ASEAN や日本の計画外停止回数、発電所計画外停止回数・停止時間を比較した際にも、ミ国の非計画外停止は、多いことが判る。



出典:JICA 調査団

図 3-15 発電所計画外停止回数・時間

尚、各発電所の計画外停止要因を分析した結果を下記円グラフの通り整理した。全発電所を総合して評価すると、約40%程度がプラントのO&M不足による計画外停止と評価できる。その他多くは外乱ではあるが、各発電所の計画外停止が系統外乱を引き起こしている一要因になる為、発電所のO&M遂行改善は急務であることが確認できた。



出典:JICA 調査団

図 3-16 5 案件トリップ原因分析結果

### 3.2.6 環境管理

資源環境省 (MONREC : Ministries of Natural Resources and Environmental Conservation) が IFC 基準を参照したガイドラインをもっており、今後、ガス火力を新設する場合には、本基準が適用され

るが、既設火力には、規制値はない状態となっている。

各発電所を調査した結果、排気ガスの環境規制値のモニタリング・管理はしていないことを確認した。Tygit 石炭火力発電所では、環境への影響を懸念する周辺地域の声に対応するため、モニタリングしており、守衛所にて、一般市民に排出値等を公開している。

### 3.2.7 発電所入構管理

来客の入構は管理簿、セキュリティカードにて管理している。

所員は、入構時に従業員カードを確認されているが、退出時は確認されていない。



図 3-17 セキュリティカード



図 3-18 守衛所(ティラワ発電所)

ティラワ発電所等の一部の発電所では、鍵の管理簿を使用しており、変圧器やガス圧縮機エリアへのアクセスを制限しているが、その他発電所においては、タービン潤滑油設備、GIS、NGステーション等危険区域の識別もなく、安全意識が薄い。



図 3-19 鍵管理 BOX

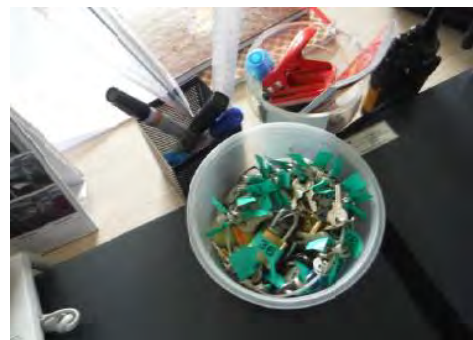


図 3-20 鍵管理状況

また、ティラワ発電所ではセキュリティカメラを設置しており、中央制御室から正門等の監視を行うことができる。



図 3-21 セキュリティカメラ監視画面  
(ティラワ発電所)

### 3.3 定期保守

#### 3.3.1 保守計画管理

GT, ST, HRSG の定期保守計画（実施項目、時期）については、OEM が推奨する周期・内容を基準に発電所が検討し EPGE に報告する。EPGE は発電所が報告する内容を基に、需給、予算を考慮して点検内容、実施時期を決定する。予算不足のため OEM が推奨する周期・内容どおりには実施できていない。

BOP に関しては、定期的に点検されておらず、事後保全となっている。

実績においても、全体で取り纏めたものがなく、実績管理状況も十分でない。

#### 3.3.2 実施状況

3.3.1 項に記載した通り、予算不足により OEM 推奨の点検周期が守られていない。その結果、運開から 10 年～15 年程度経過すると、大きな事故（回転機損傷等で部品交換を要するような事故）が 10 回程度発生している事が確認できた。

以下図の定期点検実績整理表から判る事は、定期的に部品を交換して動かす事が求められるガスタービン設備においても定期的な部品交換、メンテナンスがなされておらず、これが、予期できない大きな損傷につながっている可能性も否めないということである。



定期的な保守点検を実施していない事が一因で発生していると考えられる顕著な出力低下状況、効率低下状況も確認でき、出力低下による発電機会損失、効率低下による燃料費用増加による予算の圧迫も懸念される。

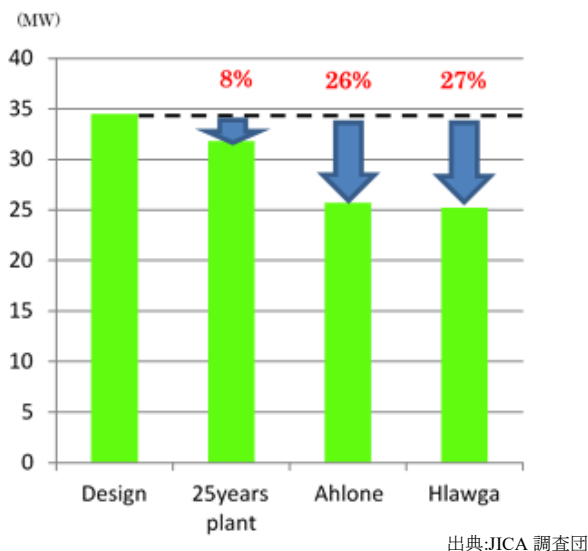


図 3-24 Frame 6 出力低下状況図

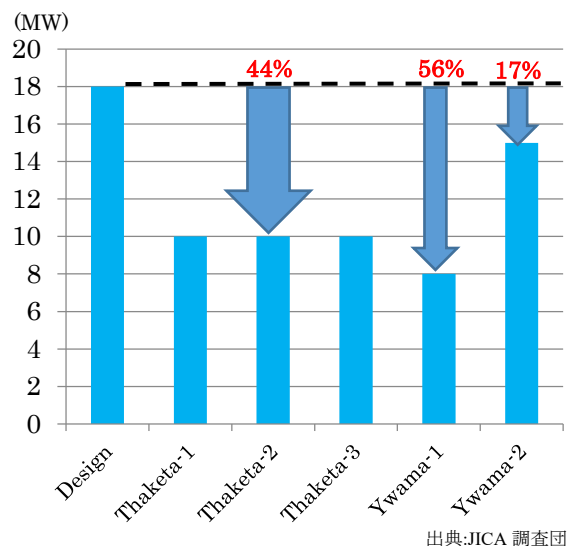


図 3-25 Frame 5 出力低下状況

### 3.3.3 継続的な改善への取り組み状況

定期点検後、発電所が報告書を EPGE に提出し、EPGE がその内容を基に、次回の定期点検に必要な項目を検討している。しかし、OEM 若しくはサードパーティ (Ethos, GE 等) が定期点検・制御装置更新等を実施した場合には、メーカーが作成した各種データを含めた詳細な報告が行われているが、EPGE 内の人員のみで定期点検を実施した場合には、詳細な記録等は含まれておらず、データも蓄積されていないことから定量的な分析・検討は実施できていない。

以下に、メーカー実施時の報告書の目次を示す。目次に記載されている項目毎に詳細な報告書が作成されている。

### 3.3.4 機器の状況

#### (1) 火力発電所における機器の状況

各発電所の調査の結果、火力発電所の総出力 760MW に対して、現在の対応可能出力は 448MW であり、312MW が何らかのトラブルで長期停止になっている状況であった。

表 3-9 プラント運用状況 (2018.8)

Plant	Type	Plant Configuration	Original Capacity	Latest Capacity	Δ (Delta)	Main Reason
<u>Yeywa</u>	Hydro Power Plant		790MW	N/A	N/A	✓ No Issue
<u>Ywama</u>	Fr5	2GT CHP	37MW	37MW	153MW	✓ <a href="#">H-25 1on1 Was Stopped</a> Due to Heavy Damage of Turbine Buckets <a href="#">From 2014</a> .
	H-25	1on1 C/C	33MW	0MW		✓ <a href="#">701D Was Stopped</a> Due to Heavy Damage of Compressor Bucket <a href="#">From July 2018</a> .
	701D	2GT S/C	240MW	120MW		
<u>Thaketa</u>	Fr5	3GT S/C	57MW(GT) 35MW(ST)	38MW(GT) 0MW(ST)	54MW	✓ <a href="#">GT#2 Was Stopped From 2015</a> Due to IGV Damage. ✓ <a href="#">ST Was Stopped From 2013</a> Due to High Vibration.
<u>Hlawga</u>	Fr6	3on1 C/C	100MW(GT) 54MW(ST)	67MW(GT) 36MW(ST)	51MW	✓ <a href="#">GT#3 Was Stopped From 2013</a> Due to GEN Ground Fault Damage.
<u>Ahlonge</u>	Fr6	3on1 C/C	100MW(GT) 54MW(ST)	100MW(GT) 0MW	54MW	✓ <a href="#">ST Was Stopped From Mar. 2018</a> Due to HRSG Tube Leakage. <small>出典:JICA 調査団</small>
<u>Thilawa</u>	H-25	2GT S/C	50MW	50MW	0MW	✓ No Issue
Total (Except Hydro)			760MW	448MW	312MW	



図 3-26 各種損傷状況(2018.8)

出典:JICA 調査団

第1回、第2回現地調査において、確認できた火力発電設備の劣化状況を下記の通り整理した。

表 3-10 火力設備劣化状況

プラント	GT型式	号機	GT	GEN	GT AUX	HRSG	ST	ST AUX	
Ywama	701D	1	GT：圧縮機サージ事故発生(手入れのみで復旧し交換が必要) 吸気フィルター室：フィルター詰まり、差圧監視の未実施				NA		
		2	運用中 GT：OEM推奨定検インターバル/部品寿命の超過運用中 GEN：軸受温度高アラーム発生しており、点検が必要 吸気フィルター室：フィルター詰まり、差圧監視の未実施				NA		
	H-25	1	2014年からガスタービン動翼損傷により長期停止中、HRSG/ST/復水器等は窒素置換等の処置なく保管中						
	Fr.5	1	2018年9月圧縮機動静翼損傷により停止中 GTローターの交換を実施したが、軸振動発生により通常運用は2018年12月時点で未だ出来ていない。					NA	
		2	運用中					NA	
Thaketa	Fr.5	1	運用中			2013年に軸受損傷により停止、開放点検を実施。 その後、復旧されず現在も開放状態で保管中。  HRSGは毎月メンテナンスを実施しているとの事。 尚、冷却塔のコンクリートの劣化が激しく、継続運用は不可。			
		2	GT#2 IGV損傷により2015年から長期停止中。 (* GT/GEG/吸気室のRハビリを計画済)						
		3	運用中						
Hlwaga	Fr.6	1	運用中			Tube Leakにより 停止中	運用中		
		2	運用中						
		3	2015年2月よりGEN地絡事故により長期停止中。						
Ahlone	Fr.6	1	運用中、ただし、GT#1の#2BRGで振動大事故が継続中。			Tube Leakにより 停止中	Tube Leakにより 停止中 運開(1999年)から一度も開放点検を実施していない為、開放点検が必要。		
		2	運用中						
		3	運用中						
Thilawa	H-25	1	運用中 GT：OEM推奨定検インターバルの超過運用中			NA			
		2	運用中 GT：OEM推奨定検インターバルの超過運用中			NA			

出典:JICA 調査団

第1回、第2回現地調査において、機器の状態を確認するために発電所で簡易診断を実施した。以下に簡易診断の結果を示す。

a. 振動診断

第2回現地調査で振動診断装置の仮設により、GTおよびSTの振動測定・診断を計画し、機材



を計画通り発送していたが機材が通関で止まってしまった事で、振動診断装置の輸送が間に合わなかった。その為、簡易的に検証を行い、その結果として、ロータのアンバランスを解消する為、①Field Balancingの実施、②低速ローダーバランス試験の実施を推奨した。

b. 水質診断

水質管理の状況を確認するために、水質分析を行った。

第1回現地調査でポータブル分析計を用いて、ローガ発電所で水質分析を行った結果を以下に示す。

**表 3-11 水質分析結果(現地①)**

■測定日：2018.9.3 測定者：関西電力 佐藤 藤原

項目・基準	pH	溶存酸素 (参考)	電気伝導率 (参考)
測定箇所	ミ国 6.3	—	関西電力 ≤0.3
純水装置出口	6.64(29.5℃)	0.47 mg/L	5.90 ms/m(29.6℃)

出典:JICA 調査団

**表 3-12 水質分析結果(現地②)**

■測定日：2018.9.3 測定者：関西電力 佐藤 藤原

項目・基準	pH	溶存酸素 (参考)	電気伝導率
測定箇所	JIS 9.8~10.7(25℃)	—	JIS ≤40(25℃)
ボイラ水 #2HRSG	10.14(38.1℃)	0.30 mg/L	12.18 ms/m(38.1℃)

出典:JICA 調査団

第2回現地調査でボイラ水を採取し、国内に持ち帰り詳細分析を行った結果を以下に示す。

**表 3-13 水質分析結果(国内持ち帰り分析)**

■サンプリング日：2018.12.4 サンプリング者：関西電力 佐藤 MHPS 平岡

■分析日：2018.12.20 分析場所：関西電力 管内火力発電所内 化学室

項目・管理値	シリカ	塩化物イオン	リン酸イオン	鉄 (参考)	濁度 (参考)
測定箇所	JIS ≤10	JIS ≤10	—	—	—
ボイラ水 (#2-HRSG)	3.3 mg/L	4.5 mg/L	0 mg/L	12 μg/L	0 ms/m

出典:JICA 調査団

測定値では、直ちに処置が必要な状態ではなかったが、以下のことが推測され、薬品注入装置の運用および継続的な水分析による適正な水質管理が必要である。

- ◆ リン酸の注入は適切に出来ていない。
- ◆ Na2S03 (亜硫酸ナトリウム) の注入も適切でない可能性がある。
- ◆ ボイラ水の溶存酸素測定値より、ボイラ入口給水の溶存酸素が高い可能性がある。

◆ pHがやや高い傾向にあり、腐食に注意が必要である。

c. 潤滑油診断

第2回現地調査で、GTおよびSTの潤滑油を採取し、国内に持ち帰り分析を行った結果を以下に示す。

**表 3-14 GT 潤滑油分析結果**

■ サンプルング日：2018.12.12 サンプルング者：関西電力 佐藤 MHPS 平岡

■ 分析日：2019.2.12 分析者：かんでんエンジニアリング

油脂名：Michang（韓国）-TURBINE OIL VG32

項目・管理値	酸価	RBOT	動粘度	水分	汚染度
	mgKOH/g	分	mm <sup>2</sup> /s(40°C)	%	Mg/100ml
採取箇所	JIS ≤0.3	—	JIS 28.8~35.2	≤0.1	≤10
アーロン発電所 No.3 GT	0.07	220	31.94	0.003	0.6

出典:JICA 調査団

**表 3-15 ST 潤滑油分析結果**

■ サンプルング日：2018.12.4 サンプルング者：関西電力 佐藤 MHPS 平岡

■ 分析日：2019.2.12 分析者：かんでんエンジニアリング

油脂名：Michang（韓国）-TURBINE OIL VG46

項目・管理値	酸価	RBOT	動粘度	水分	汚染度
	mgKOH/g	分	mm <sup>2</sup> /s(40°C)	%	Mg/100ml
採取箇所	JIS ≤0.3	—	JIS 41.4~50.6	≤0.05	≤10
ローガ発電所 ST	0.08	410	47.22	0.0041	0.3

出典:JICA 調査団

分析の結果、性能の劣化は認められなかった。ただし、RBOT 値については新油の値が分からず、残存率を評価することができていない。

ミ国では、潤滑油に関して定期的な分析・記録を行っていない。このため、潤滑油の状況（劣化状況）が分からず、不定期に補充、交換を行っている。

安全かつ経済的な運転を行うため、定期的に潤滑油分析を実施し、適切に潤滑油を管理する必要がある。

d. 補機診断（振動、絶縁抵抗、電流）

(a) 第1回現地調査でポータブル振動計を用いて、ローガ発電所で振動測定を行った結果を以下に示す。

記録名称	振動測定		
発電所	Hlawaga 発電所		
対象機器	F6 GTCC A-給水ポンプ		
測定者	MHPS 平岡 利幸		
確認(立会)者	関西電力 尾崎 敬祐		
機器仕様			
型式	多段遠心ポンプ	容量	48 kgf/cm2
回転数	2980 rpm	製造番号	RW08432-01 1/3
モータ定格電流	24.3A	モータ定格電圧	6,600V
製造者	EBARA	製造年月日	2010
測定結果			
測定年月日		2018年 9月 1日	
測定器具	種類	ポータブル振動計	
	製造番号	リオン㈱ B-イノレーションファイザ - VA-10 00280204	
ポンプ軸受 (フリー側)	V	20 μm	
	H	50 μm	
	A	37 μm	
ポンプ軸受 (カップリング側)	V	35 μm	
	H	70 μm	
	A	20 μm	
モータ軸受 (カップリング側)	V	15 μm	
	H	15 μm	
	A	14 μm	
モータ軸受 (フリー側)	V	20 μm	
	H	40 μm	
	A	35 μm	
振動基準値 (JIS B 8301): 35μm			

出典:JICA 調査団

図 3-27 A-給水ポンプ振動測定結果

記録名称	振動測定		
発電所	Hlawaga 発電所		
対象機器	F6 GTCC C-給水ポンプ		
測定者	MHPS 平岡 利幸		
確認(立会)者	関西電力 尾崎 敬祐		
機器仕様			
型式	多段遠心ポンプ	容量	48 kgf/cm2
回転数	2980 rpm	製造番号	RW08432-01 3/3
モータ定格電流	24.3A	モータ定格電圧	6,600V
製造者	EBARA	製造年月日	2010
測定結果			
測定年月日		2018年 9月 1日	
測定器具	種類	ポータブル振動計	
	製造番号	リオン㈱ B-イノレーションファイザ - VA-10 00280204	
ポンプ軸受 (フリー側)	V	15 μm	
	H	35 μm	
	A	25 μm	
ポンプ軸受 (カップリング側)	V	25 μm	
	H	40 μm	
	A	30 μm	
モータ軸受 (カップリング側)	V	30 μm	
	H	60 μm	
	A	20 μm	
モータ軸受 (フリー側)	V	18 μm	
	H	40 μm	
	A	50 μm	
振動基準値 (JIS B 8301): 35μm			

出典:JICA 調査団

図 3-28 C-給水ポンプ振動測定結果

振動測定の結果、JIS 管理基準値を超過している箇所があることが確認されたが、分解点検、調整記録等がないため、振動が発生している詳細な原因は特定できない状態である。

(b) 電動機の劣化状況を確認するため、第1回現地調査で絶縁抵抗測定、電流測定を行った。ローガ発電所の No. 3GT 潤滑油クーラファンの絶縁抵抗測定結果および B 復水ポンプの電流測定結果を以下に示す。

記録名称	低圧電動機 絶縁抵抗測定		
発電所	Hlawaga 発電所		
対象機器	#3GT FIN FAN cooler #3		
測定者	関西電力 佐藤 亮		
確認(立会)者	関西電力 藤原 悠平		
電動機仕様			
型式	全閉外扇	容量	7.5kW
極数	8	製造番号	K11R315S4 TWS
回転数	720 rpm	定格電圧	400V
定格電流	16.6A	絶縁種別	F種
製造者	ELECTROMO	製造年月日	
測定結果			
測定年月日		2018年 9月 3日	
測定器具	種類	絶縁抵抗測定器 500Vメガ	
	製造番号(型式)	YOKOGAWA MY40-01	
	校正日	2017.8	
環境	天候	雨のち曇り	
	温度(℃)	27.3℃	
	湿度(%)	51%	
測定値	MΩ	0.026 MΩ	
判定値 1MΩ以上			

出典:JICA 調査団

図 3-29 クーラファン絶縁抵抗測定結果

記録名称	電動機 電流測定		
発電所	Hlawaga 発電所		
対象機器	F6 GTCC B-復水ポンプ		
測定者	関西電力 佐藤 亮		
確認(立会)者	関西電力 藤原 悠平		
電動機仕様			
型式	全閉外扇	容量	110kW
極数	4	製造番号	K11R315S4 TWS
回転数	1480 rpm	定格電圧	400V
定格電流	195A	絶縁種別	
製造者	VEM motors	製造年月日	1998.5
測定結果			
測定年月日		2018年 9月 1日	
測定器具	種類	HIOKI 3285	
	製造番号	80523503	
	校正日	2009.8	
測定値(A)	A相	169.8 A	
	B相	164.8 A	
	C相	165.1 A	

出典:JICA 調査団

図 3-30 B-復水ポンプ電流測定結果

No. 3 潤滑油クーラファンの絶縁抵抗測定結果は 0.026MΩであり、劣化していることを確認した。B-復水ポンプ電流測定結果は定格電流以下であり、各相にアンバランスはなく、異常はないことを確認した。

e. 漏洩箇所診断

第1回現地調査で、サーモカメラを使用し、ローガ発電所で排ガス漏れ、蒸気漏れ、弁シート漏れ、機器発熱等の不具合を調査した結果を以下に示す。

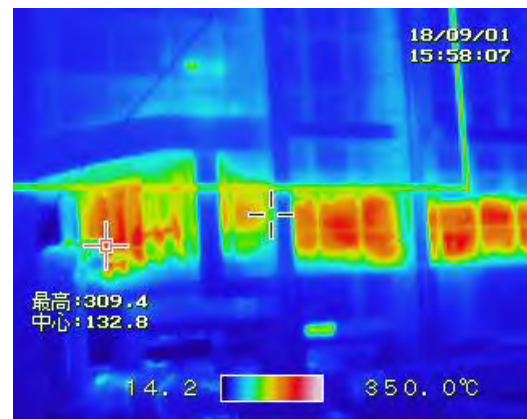


図 3-31 HRSG ケーシング下部 過熱

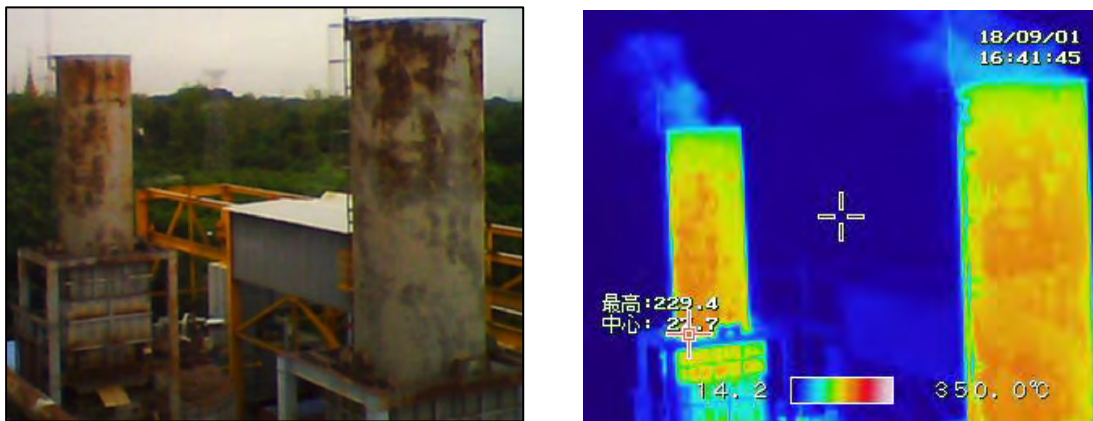


図 3-32 バイパスガスダンパ漏れ

HRSG ケーシングの保温塗装の保全状態が十分でなく、過熱していることを確認した。  
また、調査時にはバイパスダンパを閉止してコンバインドサイクルとして運転している状態であったが、バイパスガスダンパに漏れがありバイパススタック側に排ガスが流れ過熱していることを確認した。  
また、各発電所でポータブルガス検知器を用いて、ガス漏洩の有無を調査した。  
一例として、アロン発電所での結果を以下に示す。

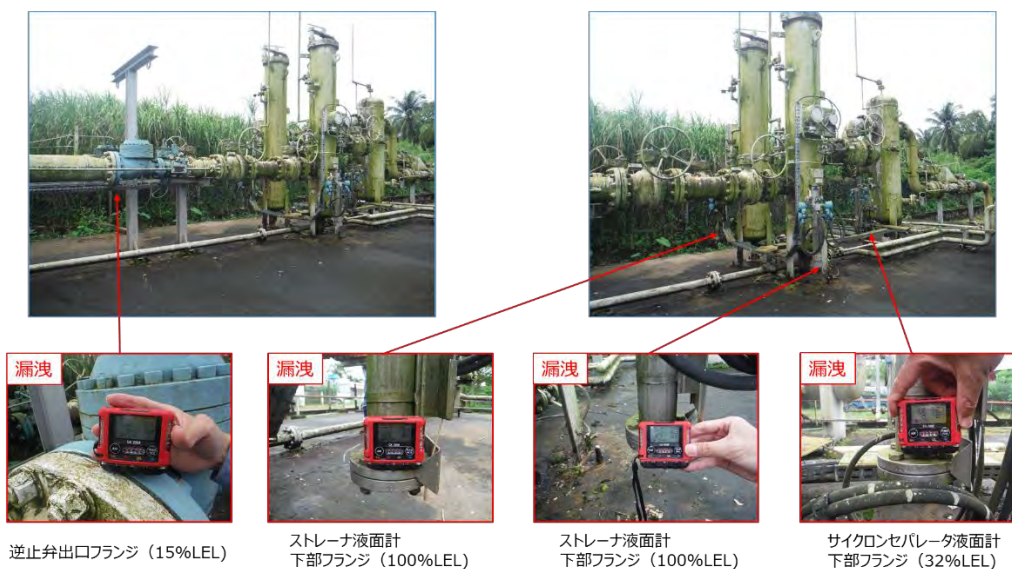


図 3-33 ガステーション 漏洩調査結果

出典:JICA 調査団

ミ国では、発電所にガス検知器を保有しておらず、設備点検の際にも、漏洩調査は実施していない状態であり、漏洩状況を把握できていない。漏洩調査結果から、100%LEL を超えている箇所も確認され、ガス漏れによる効率低下だけでなく安全上も非常に問題がある状態である。

(2) 水力発電所における機器の状況

a. 現地の状態

イエイワ開閉所は、雨季に洪水吐からの放流水の飛沫が開閉所にかかることにより、遮断器や断路器などの屋外設備が汚損している。

乾季に遮断器や断路器の碍子を清掃しているものの、雨季には洪水吐からの放流があるため、洪水吐の正面にある開閉所では碍子の汚損が毎年再発している。

2019.3の現地調査において、開閉所の汚損状況を確認したところ屋外設備の汚損は藻の付着によるものであった。開閉所上流に配置されている設備が最も汚損しており、下流に行くにしたがい、徐々に少なくなるものの、開閉所全体が藻の付着により著しく汚損している。現地調査で確認した開閉所設備の汚損状況を表 3-16 に、開閉所汚損状況写真を図 3-34 に示す。

表 3-16 開閉所設備の汚損状況

プラント	設備	汚損状況
イエイワ	変圧器	最上流に配置されているが、スチールウォールで保護されているため、ほかの上流側の設備と比較すると藻による汚損は少なめである。
	遮断器	外観が藻でかなり汚損している。操作ボックス内部は藻による汚損はない。碍子は1年前に清掃されていたが藻でかなり汚損している。
	断路器	外観が藻でかなり汚損している。操作ボックス内部は藻による汚損はない。碍子は1年前に清掃されていたが藻でかなり汚損している。
	鉄構	藻でかなり汚損している。高所の碍子は建設以来清掃できていないため著しく汚損していると予想される。
	電線類	地上からのみの確認であるが、著しく汚損していると予想される。
	床	開閉所全体に渡り、かなり汚損している。
	外柵	外観が藻で著しく汚損している。
	ケーブルピット	ピット蓋が藻でかなり汚損している。ピット内部は藻による汚損は極小である。

出典:JICA 調査団



図 3-34 開閉所汚損状況写真

b. 屋外設備への影響有無の確認

河川水や藻が屋外設備へ影響があるものかどうかを確認するために、2019.3の現地調査でミング川の河川水および開閉所の藻を採取し、国内に持ち帰り分析を行った。

(a) 河川水の分析

採取した河川水の分析結果を表 3-17 に示す。

表 3-17 分析結果(河川水)

■サンプリング日：2019年3月19日 サンプリング者：関西電力 下方、中

■分析日：2019年4月1日～4月3日 分析場所：関西電力 技術研究所

項目	単位	数値
Ph	—	8.4
導電率	μ S/m	328
カルシウムイオン(Ca)	mg/L	43.5
マグネシウムイオン(Mg)	mg/L	21.8
硫酸イオン(SO4)	mg/L	6.5
ナトリウムイオン(Na)	mg/L	1.9
塩化物イオン(Cl)	mg/L	1.0
リン濃度	mg/L	0
窒素濃度	mg/L	0.18
COD (簡易測定のため参考値)	mg/L	5.0

出典:JICA 調査団

分析結果で注目ポイントは導電率である。導電率とは電気の流れやすさで、数値が高いほど電気が流れやすい性質をもつ。ミンゲ川の河川水の導電率は、 $328\mu\text{S}/\text{m}$ であった。

日本の平均的な河川は $110\mu\text{S}/\text{m}$ 、海水は $45,000\mu\text{S}/\text{m}$ 。また、雨水は $10\sim 30\mu\text{S}/\text{m}$ 、河川上流のきれいな水は $50\sim 100\mu\text{S}/\text{m}$ 、河川下流の汚れた水は $200\sim 400\mu\text{S}/\text{m}$ といわれている。

(b) 藻の分析

採取した藻の分析結果を表 3-18 に示す。

**表 3-18 分析結果(藻)**

■サンプリング日：2019年3月19日 サンプリング者：関西電力 下方、中

■分析日：2019年4月1日～4月3日 分析場所：関西電力 技術研究所

項目	単位	数値
等価塩分付着密度(ESDD)	mg/cm <sup>2</sup>	0.519
不溶性物質付着密度(NSDD)	mg/cm <sup>2</sup>	45.2

出典:JICA 調査団

①等価塩分付着密度 (ESDD: equivalent salt deposit density)

成分を、同一の導電率を与える塩分量に置き換え、それを表面積で割った値を等価塩分付着密度(ESDD)という。数値が高いほど電気が流れやすい性質をもつ。ESDDは、 $0.519\text{mg}/\text{cm}^2$ であった。想定塩分付着量の表に示す汚損区分の「D区分」の数値を超える。想定塩分付着量の表を、表 3-19 に示す。

**表 3-19 想定塩分付着量**

(出典：電気協同研究第20巻第2号 送変電設備の塩害対策)

汚損区分		A	B	C	D	E
想定最大等価塩分付着密度 (mg/cm <sup>2</sup> )		0.03	0.06	0.12	0.35	海水のしぶきが直接かかる場合を対象とし、3%塩水、0.3mm/min(水平分)の注水を想定
海概岸略からの距離	台風に対し	50km以上(一般地域)	10~50km	3~10km	0~3km	海岸の地形構造より0~300mまたは0~500mm
	季節風に対し	10km以上(一般地域)	3~10km	1~3km	0~1km	海岸の地形構造より0~300m

注： 上表に海岸からの概略の距離として示されている数値はおおよそその目安を与えるもので、適用する地域の地形的条件により、塩分付着量の実績に重点をおいた補正がなされることが望ましい。

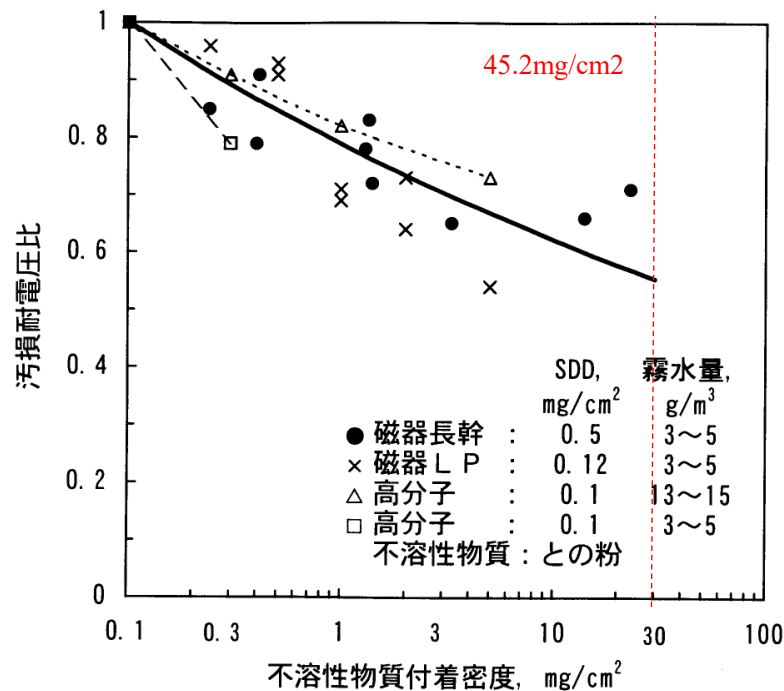


②不溶性物質付着密度 (NSDD : non-soluble deposit density)

成分のうち液体に溶けない性質のものの重さを測定し、表面積で割った値を不溶性物質付着密度 (NSDD : non-soluble deposit density) という。数値が高いほど耐電圧を低下させるため事故発生のリスクが高まる。耐電圧とは、絶縁破壊を起こさずに耐えうる電圧のことである。NSDDは、45.2mg/cm<sup>2</sup>であった。不溶性物質付着密度と汚損耐電圧の関係から、汚損耐電圧比は0.5程度まで低下する。不溶性物質付着密度と汚損耐電圧の関係を表 3-20 に示す。

表 3-20 不溶性物質付着密度と汚損耐電圧の関係

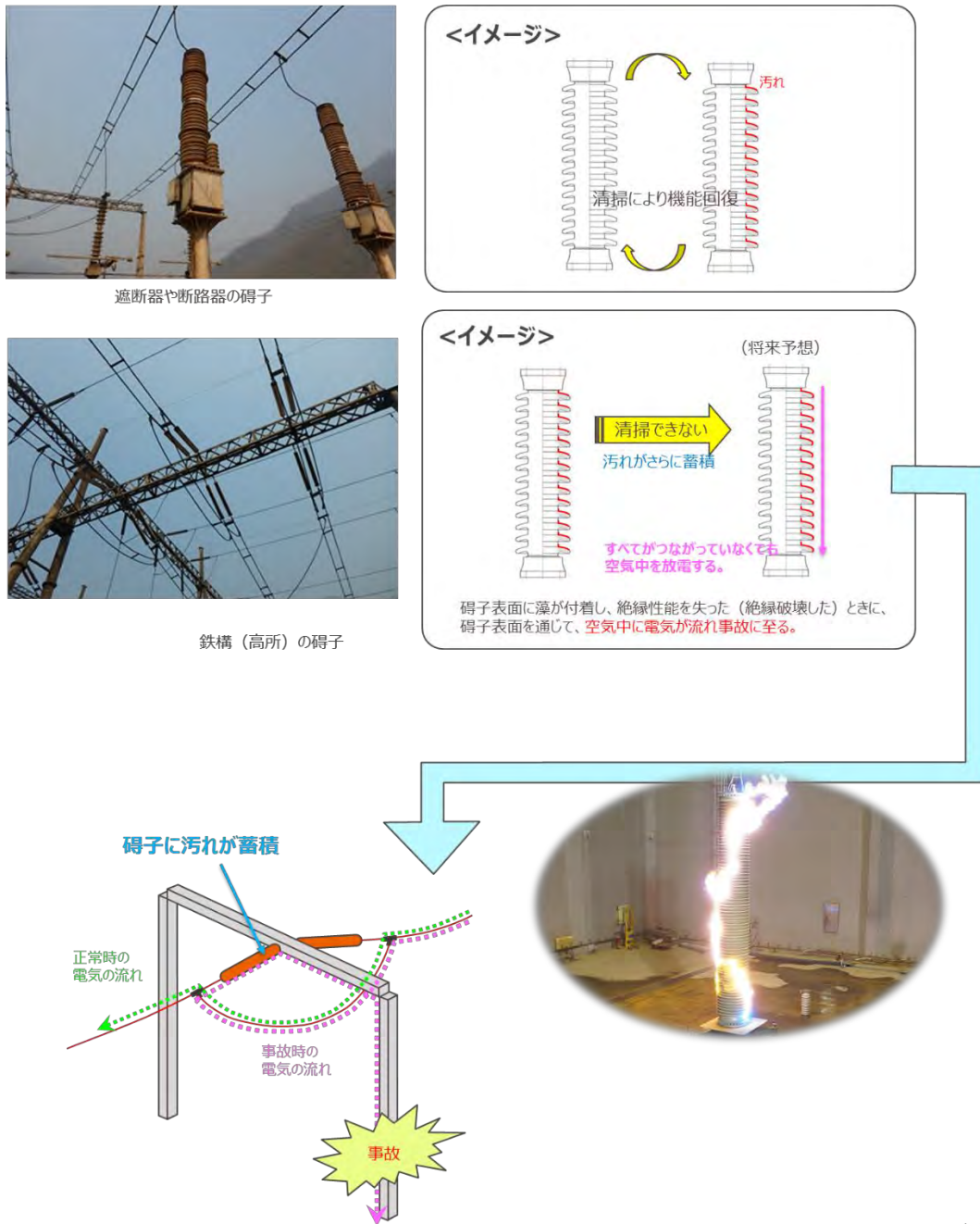
(出典：高分子がいの電気絶縁特性に関する基礎研究「名古屋工業大学博士論文 乙第118号 (1997)」, P83)



c. 現地調査と分析結果からの評価

碍子の表面が汚損すると、その表面に電気が流れやすくなる。碍子表面にかかる電圧が、ある限度以上になった時に、碍子が絶縁性能を失い電気を流すことで事故に至る。遮断器や断路器の碍子は、1回/年の頻度で清掃していることから、碍子の絶縁性能は回復できている。しかし、高所の碍子は建設以来掃除していないため絶縁性能の回復はできていない。そのような中、河川水は電気が流れやすい性質であり、藻は電気が流れやすく耐電圧を低下させる性質をもつことがわかった。

これらのことから、碍子への藻の付着は、すぐにでも事故の発生が懸念されることから、非常に危険な状態にあると評価している。図 3-35 に想定される事故発生の状況の例を示す。



出典:JICA 調査団

図 3-35 想定される事故発生の例

### 3.4 予知保全

基本的に予防保全や事後保全ではなく、機器が壊れるまで運用し、機器が損傷すれば計画外停止・リハビリ工事を行っている状況である。また、警報発生時や、計器破損時は、制御ロジックでバイパスして使用を継続している。

機器が破損して運転不可になった場合、EPGE に連絡し、リハビリ若しくは破損機器を修繕している状態である。

参考までに、実情として確認できた事象を以下の通り報告する。

=アーロン発電所=

ディスクキャビティ温度(計測場所:回転部品と静止部品の間隙温度 計測目的:ガスタービンロータ温度の計測)がアラーム値を超えているにもかかわらず、アラームを無視して継続運転されている。ロータが短時間で損傷するというのではないものの、安定運用・予知保全の観点から、アラームを放置する事は問題であり、最悪は、タービンロータの寿命を消費し、最終的には高温クリーブ破壊により、ガスタービンロータが破壊してしまうリスクがある。

1) アラーム発生した場合の処置、2) 1)を厳格に守る体制・制度づくり、3) 警報を無視して運転することのリスクの理解、が重要である。

尚、この警報が発生している原因の一つとして、圧縮機の効率低下が考えられる。圧縮機の効率が低下すると、ディスクキャビティへの冷却空気量が低下し、この部分の温度が上昇する。圧縮機効率を回復させるには圧縮機の水洗浄が有効であるが、設備があっても使用されていない様子がない。やはりこの部分についても、定期メンテナンスの重要性並びに背景に関する教育をすることが重要であると考えられる。



図 3-36 警報発生状況

=アーロン発電所=

アーロン発電所では下記の設定変更をしつつ発電所運用している事が確認できた。図 3-37 はアーロン発電所の制御装置画面であるが、以下の設定変更が確認されており、意図は不明なるも運用上問題がある可能性がある。

(1) LK3IGVF2(IGV開度)の設定変更

『運転中は通常34°、現状は“36.0° F”=強制的に36°で固定されている』

本件については、起動時の起動条件を満足させるために実施しているものと推察される。

通常運転中については特に問題となるものではないが、ガスタービンの昇速中、本当に圧縮機を守れないといけない時に、守れない可能性があり、このまま放置しておくことは危険である。

対策としては、IGVの弁調整のやり直しが挙げられる。

(2) L33CB10(抽気弁開度)の設定変更

『運転中は“False”=閉設定、だが、強制的に“True”=開設定』

抽気弁が開いたという信号であり、通常運転中は閉まっていることが正なのだが、恐らく、本件も起動条件を成立させるために、強制的に”開”としていると推定される。いずれにせよ、アラーム、トリップに使用されている信号であり、このまま放置することは本当にトリップさせないといけないうちにその機能が働かないことであり、非常に問題である。

(3) L33CSE(トルコン/アクセサリギアのクラッチ状況)の設定変更

『運転中は“False”=勘合が外れている設定、だが、強制的に“True”=勘合している設定』

トルクコンバータとアクセサリギアの間にあるクラッチが勘合したことを示す信号である。ガスタービン起動するために起動装置であるディーゼルエンジンを起動するには、このクラッチが勘合している信号が必要である。現地にて種々調査したが、何故これを強制的に勘合位置と認識させているのか不明である。いずれにせよ、クラッチが離脱するとディーゼルエンジンも停止する仕組みになっているが、それが正常に働かない可能性がある。クラッチが離脱してディーゼルエンジンが運転し続けると、トルクコンバータが過熱し、損傷に至る可能性がある。

(4) L3LFLT(燃料油制御系統サーボ弁)の設定変更

『燃料油での運転中は“True”=Servo弁OPEN、だが、強制的に“False”=Servo弁CLOSEの設定』

これは、燃料油制御系統にあるサーボ弁の不良(不調)によりガスタービンをトリップさせる信号である。現状は、サーボ弁がなく、燃料油も使用しないので実害はないが、これがトリップに使用される重要な回路であることを、運転員は認識すべきである。

\* (2), (3), (4)については改めて教育の重要さがうかがえる。

Name	Value	Units	Description	A
LK3IGVF2	36.0 ° F	°	IGV POS FAULT, NOT AT CLOSED POSITION	
I33cb1o	True F		COMPRESSOR BLEED VALVE #1 OPEN	<QD1> DTBA 055
I33cse	True F		STARTING CLUTCH ENGAGED	<CD> DTBA 015
L3LFLT	False F		LIQUID FUEL CONTROL FAULT	

図 3-37 ロジックバイパス状況

### 3.4.1 運転データの採取状況

<主要パラメータ>

温度・圧力・振動などの主要パラメータについては、1時間に1回データを採取。

採取方法は手書き、紙としてデータを残す様式である。

<定時報告>

1日に1回、電力量、燃料ガス流量（積算）をEPGEに報告している。  
データについては、1時間おきに手書きで採取、紙面に記録している。  
1時間おきのデータを積算もしくは平均化（算術平均）等を行い、電話もしくはFAXによりEPGEへ報告している。

<運転員によるログブック>



起動、停止、並列の時間の記載、主要イベントの記載を行っている。ただし、イベントの詳細までは判らず、例えばガスタービンがトリップしてもトリップ表示の記録はあるが、何故それが発生したかまでは記載がない。縦40cm x 横20cmのノートに記載されている。

(図 3-4 参照)

### 3.4.2 運転データの蓄積・分析状況

上述の通り、紙データとして保管されているが、分析等は一切なされていない。  
データの蓄積について特筆すべきは以下の通り。

表 3-21 制御盤更新前後のデータ蓄積状況比較

	アナログ制御盤	デジタル制御盤（更新後）
データ採取方法	盤面上のメータを読む	保守ツール上の数値を読む
データの蓄積	紙として保管 (Excel等への転記なし)	紙として保管 (Excel等への転記なし)
データ自動保存機能	無	有 (Excel等へ変換可)
制御盤比較		

高価な制御盤を更新しても、データの蓄積手法は変わらず、機能を最大限に活かして運用している状況である。

次にデータの活用方法であるが、日本国内発電所とミ国内発電所の状況について参考に、トリップ時を比較すると以下の通りである。

日本国内：トリップ発生 ⇒ 原因調査（データ分析） ⇒ 対策 ⇒ 再発防止 ⇒ 再起動

ミ国内 : トリップ発生 ⇒ 再起動

原因分析せずに即再起動するため、重要な事象を見過ごし大事故につながる恐れがある。

【例：イワマ発電所 圧縮機損傷】

<2018年6月>

ガスタービン負荷運転中に圧縮機入口案内翼（IGV）突然閉動作し、運転状態が変化、警報発生したが、無視して約11時間運転継続。

（運転中にIGVが突然閉じるとサージングが発生し、圧縮機翼が破損する可能性があるため、日本国内の場合、通常、警報発生後すぐに停止して調査している。）

この11時間の間に高サイクル疲労が蓄積され最終的に翼損傷に至った可能性がある。翼損傷の起点となったものが高サイクル疲労であるか腐食ピットなどによるものかは、現物を詳細検査する必要がある。

尚、IGVが急閉した原因は、IGV動作用電磁弁内のコイル巻線が、断線等により機能しなくなり、電磁弁が無励磁となったためと推定する。IGVが急閉することで、排気温度が上昇、圧縮機出口圧力が低下したと推定される。（IGVが急閉したとされるエビデンスは以下の通り。）

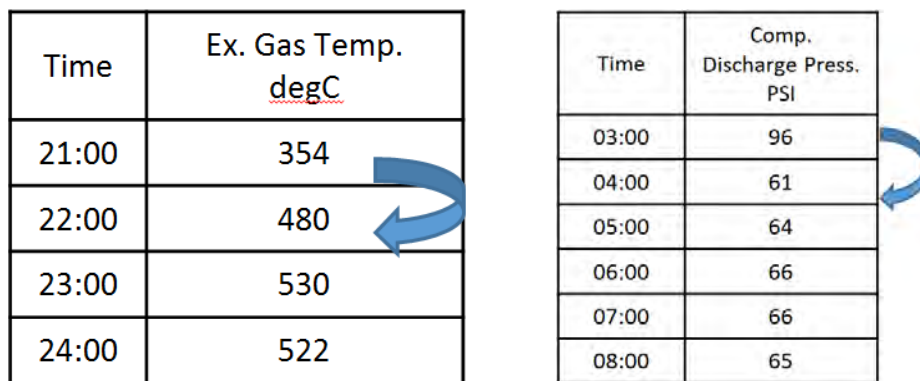


図 3-38 警報発生後の運転状況（記録紙あり）

出典:JICA 調査団

警報発生時に分析して、しかるべき処置をしていれば、長期停止や計画外の修繕費を回避できた可能性がある。

<2018年8月（警報発生から2か月後）>

6月の警報発生以降、何度か起動停止を繰り返し最終的に圧縮機翼損傷に至った。



図 3-39 圧縮機翼損傷状況

### 3.4.3 予知保全の実施状況

上述の通り、壊れるまで使用しているため、予知保全は実施されていない。尚、日本国内では通常、警報発生レベルの前段で何らかの処置をしている。

【予知保全の例：フィルタ差圧上昇時の例】

差圧が交換準備差圧に達したら予備フィルタ準備（手配）を実施し、警報差圧に到達したらフィルタを交換する。

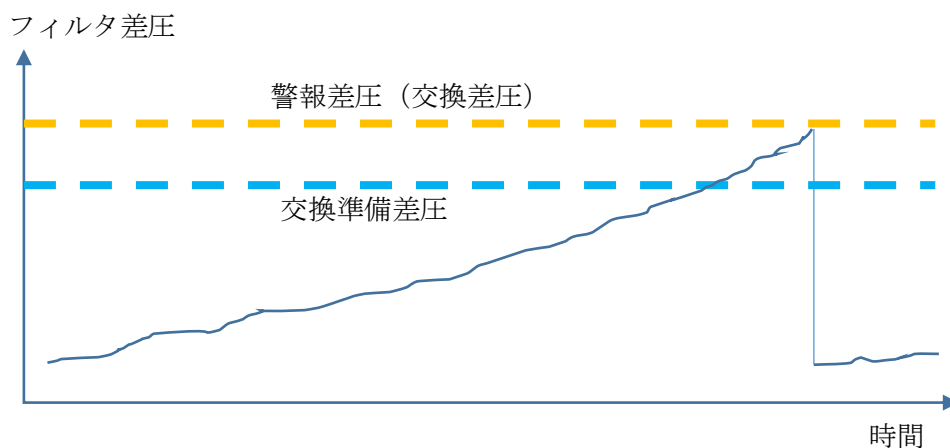


図 3-40 予知保全の例(フィルタ差圧上昇時の対応) 出典:JICA 調査団

### 3.4.4 記録の管理状況

記録紙は発電所内の書庫に保管されている。ただし、ファイルして、時期毎に管理されているわけではなく、紙を積み重ねているだけの保管・管理状況である。

ログブックについても同様の管理状況である。



図 3-41 運転データ他管理状況



## 第4章 IoT や AI 等の最新技術の適応可能性検討

### 4.1 電力事業における遠隔監視の実施状況

#### 4.1.1 電力事業におけるデジタル化

近年、IoT や AI といったデジタル技術の発展とともに、世界中の様々な業種・分野において新たなデジタル化の仕組み・サービスが盛んに開発されており、この流れは電力業界においても大きな変革をもたらしている。特に火力発電事業においては、地球環境保全の観点から CO2 排出の少ない再生可能エネルギー発電の大量投入や電力自由化等、取り巻く環境が大きく変化している。このような背景から、高効率、柔軟な運用性、高信頼性を維持しつつ、低コストでの発電設備の O&M 運用が求められており、デジタル技術の活用が期待されている。

発電設備においては、これまで発電機の出力、蒸気や燃料の温度・圧力・流量といったプラント運転データや保守・修繕記録、事業経験の中で培ったノウハウ集やマニュアル等を大量に蓄積してきた。最近ではこれらのデータを用いた IoT・AI 等の最新技術活用が進められており、多くの発電設備で実装、検証、実運用が行われている。具体的には、集められたデータを解析し、異常兆候の早期発見や適切な設備管理に活用、プラント保守・運用の高度化を目指すというものであり、このデジタル化の取組みは火力発電事業の将来像に欠かせないものとなっている。

#### 4.1.2 火力発電所の遠隔監視

関西電力では、火力発電所においては発電設備の運転管理のため多くの計器が設置され、これらの運転データが記録されていた。近年は、デジタル技術の進歩によってより多くのデータ収集が容易となるとともに発電所だけでなく本店や他所において運転データを一元的に管理できるようになった。他産業では ICT 技術、ビッグデータ分析等を適用したデータの活用が進み、遠隔監視やタブレット機器等と組み合わせて、業務効率化や設備信頼性の維持・稼働率の向上に繋がるサービスが展開されている。

日本では、近年のこれらの流れを受けて、海外や他産業で採用実績の多い OSIsoft 社の PI System を導入されている。従来、設備の異常兆候の監視などは、当直員や保守員の気付きや経験に大きく依存していたが、設備不具合の予兆を画一的に発見することが可能となった。また、本店および全火力発電所間においてもリアルタイムでの運転データの一管理・共有が可能となり、監視の画一化も図ることができるようになっている（図 4-1）。



出典:JICA 調査団

図 4-1 監視画面（関西電力の事例）

一方、GT においては、1990 年代から長期保守の一環として GT のプロセスデータを GT メーカー等が遠隔で監視するサービス (Remote Monitoring Service) が行われてきた。GT の運転状態の健全性を確認しながら、異常を事前に把握することで、適切なアドバイスの提供や、問題発生時の迅速な対応が、現地にいなくても可能である。

昨今の進歩が著しい AI 技術の発電設備の O&M への応用としては、プラントの異常予兆検知や、プラントの状態を再現・予想するデジタルツインの構築がある。異常予兆検知は、機器が重大故障に至る前に処置が可能となり稼働率向上に貢献している。デジタルツインでは、経済性や設備寿命を改善する最適な運転条件を、コンピューター上で探索して、提示することが可能となる。更に、各種プロセスデータの蓄積と分析により過去の不具合や計画外停止に至った原因を監視し、保守対応の迅速化につなげることもできる。

このように、IoT・AI 技術と発電設備の O&M のノウハウの融合は、発電所運転保守における全体最適化が期待できる。また、AI 技術の進歩により、発電設備の O&M において診断、予測の精度向上が期待されている。こうした技術を提供する遠隔監視は、計画外停止の発生頻度や運用管理に課題を持つミ国において、最適な運転と合理的な保守、運転員の技術力向上に貢献できる有効な手段であると考えられる。

#### 4.2 パイロット機材を活用した IoT・AI 実証調査の概要

遠隔モニタリング等 IoT・AI を活用する場合には採取するデータ量が多いほど異常予兆検知等の精度を向上させることができる。

このため、本調査においてデータ収集・遠隔監視のためのパイロット機材を導入し、実際に運用することでこうしたデジタルソリューションのミャンマーの課題に対する有効性を検証する。



図 4-2 導入したパイロット機材(MHPS-TOMONI®)

出典:JICA 調査団

今回、パイロット機材を用いて実証調査を行ったティラワ発電所は、他発電所と比較して運用開始時期が遅く、高稼働率である為、運用情報の収集機会が多いと見込まれ、円滑かつ効果的にパイロット機器を設置・運用することが可能であると推察された。以上のことから、ティラワ発電所に対してパイロット機材を提供、主機であるGTに接続、試験的に一定期間/時間のモニタリングを実施し、有効と思われるアプリケーションの導入による発電所設備のO&M向上や実施体制に係る教訓を調査した。なお、アプリケーションは以下をトライアル導入した。

表 4-1 トライアル導入アプリケーション(案)

No	アプリケーション名	説明
1	GT 異常予兆検知アプリ	発電所 Trip につながる重大トラブルの異常予兆を検知し、稼働率向上と不測のメンテナンス費用の最小化に貢献する。また、その原因を推定するとともに、推定原因に対応するアクションを提示することで、迅速な対応を支援する。
2	KPI 可視化アプリ	プラントの主要な運転パラメータや管理指標(熱効率や出力、計画外停止等)を可視化する。これにより、最適な運転保守の実現と、EPGEの発電事業の経営を支援する。
3	運転員サポートアプリ	アラーム発信時の取扱説明書の関連情報を適時にオンライン表示することにより、その対応の迅速化支援を行う。さらに、EPGEによるユニット固有の情報の記録・蓄積も可能となっており、情報共有や技術伝承にも貢献する。

出典:JICA 調査団

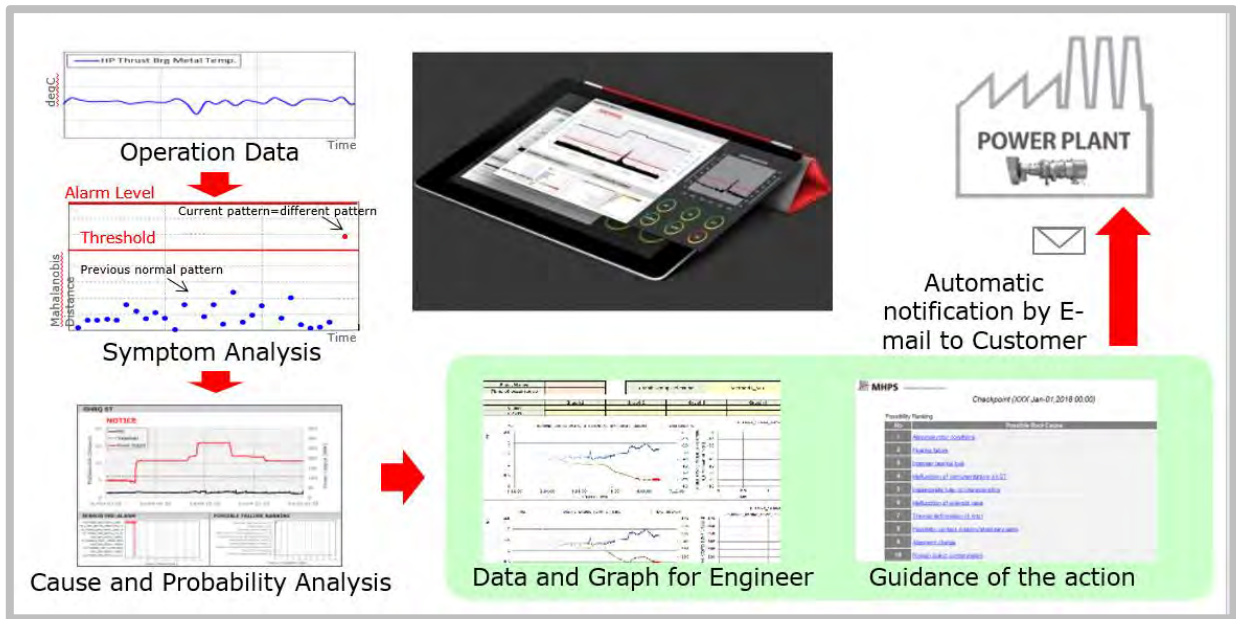


図 4-3 GT 異常予兆検知アプリ

出典:JICA 調査団

Always keep you up to date with power plant's real-time performance, monthly report and how to improve it.

**Operating parameters:**  
MW, speed, Fuel flow, DCT  
BPT, Exhaust gas temp. etc.

**Capacity and Generation parameters:**  
Operating hours, Number of starts,  
MW, etc

**Availability and Reliability parameters:**  
Trips, Starting Reliability,  
Service Factor,  
Estimated Reliability, etc

**Performance parameters:**  
Power output, Heat rate, Performance  
Degradation, Compressor efficiency, etc.

The screenshot shows the 'KPI Analyst' interface with a grid of charts and data points. Key metrics include 'STARTS' (20,000), 'STARTS' (240), 'PAUSED STARTS' (240), and 'TRIPS' (15). The interface includes various line and bar graphs for performance analysis.

KPI Analyst sample screen

図 4-4 KPI 可視化アプリ

出典:JICA 調査団



図 4-5 運転員サポートアプリ

出典:JICA 調査団

## 4.3 実証調査の結果

### 4.3.1 サービスの開始

2019年1月にパイロット機材をティラワ発電所に設置し、実証調査を開始した。

初期データを収集した後、2019年3月にティラワ発電所にて使用説明会を実施した。概要は以下の通り

#### 【説明会概要】

- 場所 : ティラワ発電所  
 参加者 : 発電所長、保守、運転管理担当者他 20 名  
 日程 : 2019/3/22, 25

#### 【実施内容】

基本機能である GT 異常予兆検知アプリ、KPI 可視化アプリ、運転員サポートアプリの見方、使い方について説明を実施した。この段階ではデータの蓄積期間が足りていなかった事から、GT 異常予兆検知アプリ以外の KPI 可視化アプリ、運転員サポートアプリの 2 つのアプリを参加者に実際に使ってもらいながら、見分を深める説明会とした。



図 4-6 ティラワ発電所におけるトライアル使用説明会実施状況

#### 4.3.2 提供アプリケーションの有効性の確認

実証調査開始後、一定期間使用状況のモニタリングを行いながら、提供アプリケーションの有効性の確認を検証した。

##### ① KPI 可視化アプリ

これまでは出力やヒートレート、累積運転時間といった発電所経営の為の主要な KPI パラメータを確認する際には中央操作室にいるオペレータに無線を使って、又は中央操作室まで移動して HMI (Human Machine Interface) にて実施していたが、携帯端末を使って、アプリを起動し、システムにアクセスすることにより運転状況をいつでもどこにいても確認することが可能となった。

ティラワ発電所では、主に出力、ヒートレートを監視する目的で利用されている事が判った。これまで実施・モニタリングしていなかった運転状態の傾向や履歴を可視化することに EPGE は価値を感じているように見受けられる。また、機器の状態をより正確に把握することが可能となり、GT 圧縮機効率も可視化されているため、翼洗浄の最適なタイミングを確認することが出来るようになり、効率の悪化を最小限とする保守の運用にも期待されているようであった。また、アプリケーションには、簡易系統図(発電所の図面類)のオンライン表示機能もあり、こちらも利用されている事が確認でき、一定の有用性効果がある事が確認できた。

## ② 運転員サポートアプリ

従来は、発電所トラブルの警報が発生すると、その対処の仕方が直ぐに判らず、また判ったとしてもその説明書や図面類を戸棚から確認するという作業が必要であった為、トラブル対応に時間を要するという課題があった。今回、運転サポートアプリを導入し、特に重要な警報に対して対処法を準備したため、それらのファイルを参照することで、トラブルシューティングの時間短縮、早期リカバリーが可能となり、ひいては、ガスタービンの運転に関する知識の向上を図ることも可能になった。

また、本アプリケーションにはアラーム発生時の実体験や教訓をアップロード、同類のアラーム発生時に即時に共有される機能が搭載されており、この機能を活用することによって対応ノウハウの蓄積及び情報共有が出来る環境が整った事についても EPGE からは関心が示され使用されている事が確認できた。

## ③ GT 異常予兆検知アプリ

従来であれば問題が顕在化、或いは対処不能なレベルになってから被害の最小化や復旧作業が始まる事になっていたが、このアプリの導入により、異常予兆を検知、タイムリーにメールで配信・連絡されるため、警報が発生する前に対処することも可能となった。本説明会実施後、アプリを実装した事によって、日常保守でも対象可能な段階での異常発見が増え(4.3.3参照)、トラブル発生時にも根本原因の検証を格段に早めることが出来る環境が整い、EPGE も高い関心を示した。

### 4.3.3 実績事例

実証調査を開始してからの期間は短い、2件の実績について紹介する。

#### 実績事例① 燃料発熱量計不具合事象への対応：

燃料ガス発熱量計について GT 異常予兆検知アプリ動作により、メールが配信された。

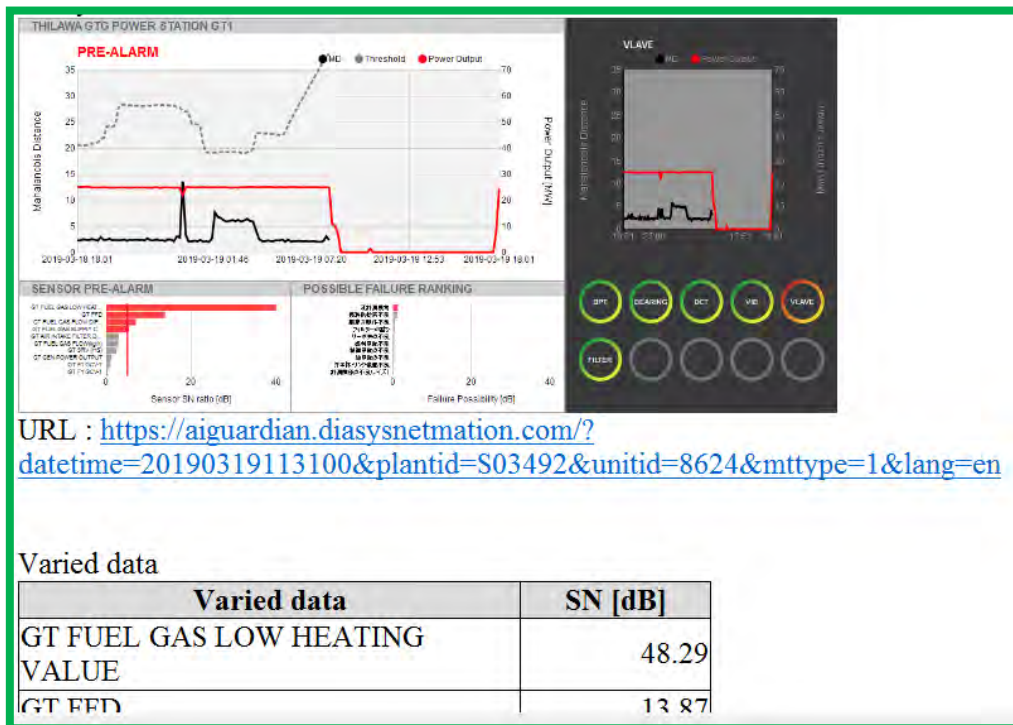


図 4-7 GT 異常予兆検知アプリによるメール配信内容 出典:JICA 調査団

発熱量計のデータが大きく変化しているとの予兆検知であり、この連絡を受けたティラワ発電所のエンジニアが、発熱量計自体を現地確認したところ、発熱量計の故障表示が確認できた。



図 4-8 発熱量計表面液晶表示“FAILURE”の表示あり

その後、故障の原因を分析したところ、本来、発熱量計に窒素を供給しているが、その窒素供給が止まっていたためであると判明した。結果、EPGE からは窒素を供給した後、リセットしたことを確認す

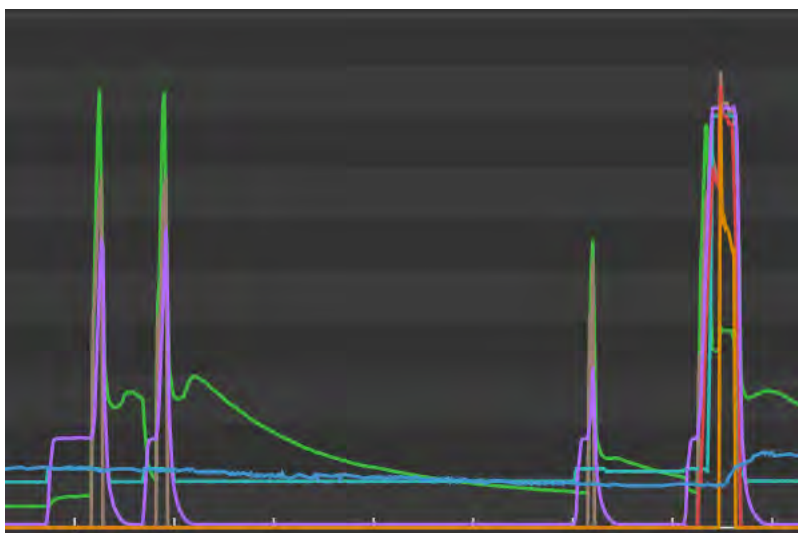


るとともに、運転員に対しては、定期的に現場を確認するようなトレーニングを実施して改善の意識づけを根付かせた。

GT 異常予兆検知アプリにより、異常検知から故障認識、推定原因の特定までが EPGE と同一情報の元で迅速かつ正しくアクションでき、大きなトラブル事象に至る事を防ぐ事ができた好事例だと考察する。

### **実績事例② GT2 液体燃料での起動不可**

燃焼器異常にかかわるデータを確認し、分析してみると燃料油で起動すると途中で火炎が喪失し、定格速度まで上昇しない事象が確認された（燃料ガス自体は問題なし。）現地オペレータからメーカーに対して問い合わせを実施し、現場データ（ローカルの圧力計）を確認したところ、燃焼器に異常がある可能性が高いことが判明した。よって、GTの基幹部品である燃料ノズルを取り外したところ、10本中3本に損傷が認められた。安定運用を考え損傷した3本だけでなく、全10本交換し交換後の運転は良好であった。仮にこの事象を未然に発見・防止できなかったとしたら、損傷した状態のまま基幹部品を運用させ、長期発電所停止を含む重大事故につながっていた可能性もある。



出典:JICA 調査団

**図 4-9 燃料油起動と燃料ガス起動**



図 4-10 損傷した燃料ノズル

デジタルソリューションの採用により、発電所のデータを異常管理・解析していた結果、短期間で問題解決ができた好事例であったと考察する。

#### 4.4 実証調査結果の定量的、定性的分析

##### 4.4.1 利用状況

ティラワ発電所では、発電所長以下7名にアクセス権を付与した。

発電所長

Executive Engineer 2名

Assistant Engineer 2名

Sub-Assistant Engineer 2名

その後、発電所側から2名追加の要求がなされるなど、現場でも有効性が認められているものと考えられる。また、本部エンジニアや総裁・副総裁にも本実証調査を踏まえ、IoTやAI等の最新技術の有効性を説明している。

3月22日から5月27日の2ヶ月間のアクセス状況は下記の通り。



出典:JICA 調査団

図 4-11 アプリ別アクセス数

尚、アクセス解析時点では、GT 異常予兆検知アプリは、実装して間もなかった事もあり、アクセス数が未だ伸びていない。

かなりアクセス数が多いことから、ティラワ発電所において、遠隔監視装置の有用性が評価されていると考えられる。

#### 4.4.2 利用者の意見

発電所の利用者から実際に口頭で説明のあった意見の主なものは以下の通り。

##### ① 運転員

家で発電所の運転状況をチェックするために使うのがメイン。運転員サポートアプリと KPI 管理アプリに付属している系統図を頻繁に利用している。また、KPI 管理アプリの発電出力と Heat Rate のトレンドを見て傾向を監視しており、有効に利用している。

##### ② 機械担当エンジニア

主に携帯電話からアクセス、メインの利用は KPI 管理アプリ（発電出力と Heat Rate、圧縮機効率）で、これらを現場に出ている間も活用している。オンライン機能に有効性を感じている。追加機能に対する要望も多数連絡済で、携帯なので少し制限があるが便利になっている。

## 第5章 運転維持・管理の課題および改善方法

本章では、第2章【発電所の運転維持・管理体制一般事項調査結果】および第3章【発電所個別の運転維持・管理体制調査結果】から確認された課題の抽出および改善方法の提案を行う。

表 5-1 運転維持管理の課題

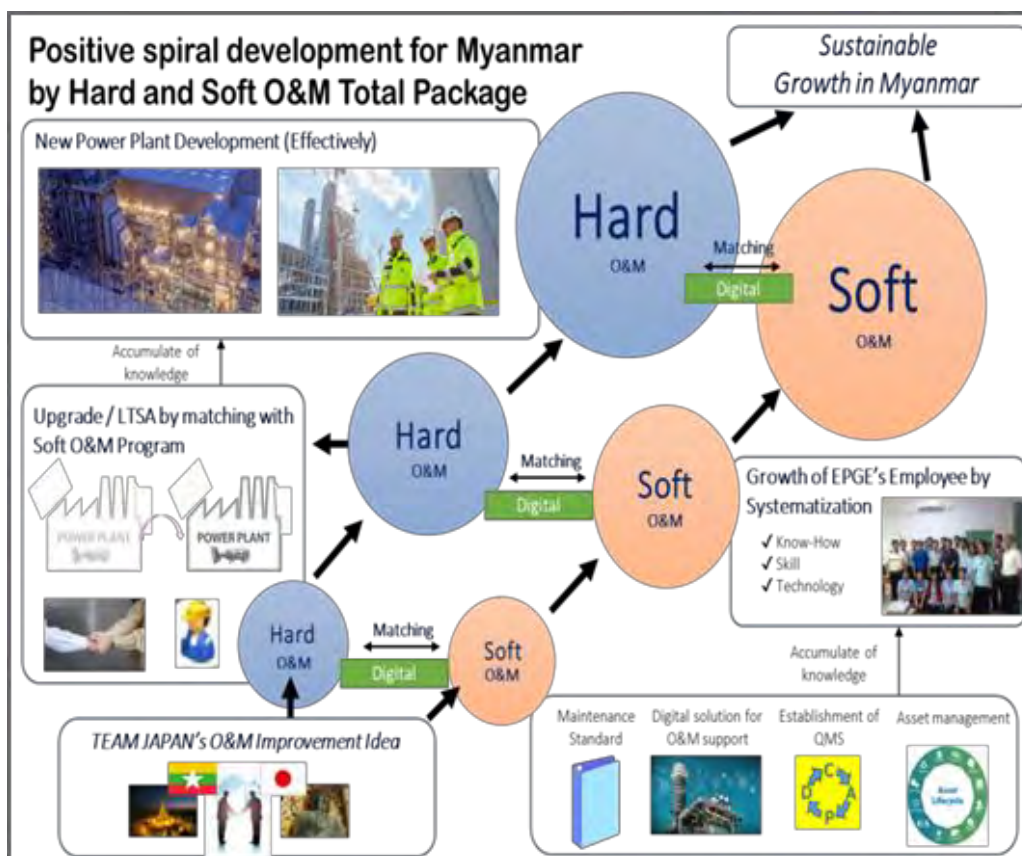
運転維持管理の課題		改善方法
法令・規則 ・マニュアル 整備	発電設備運営・維持管理に係る法令・規則・マニュアル整備不足	法令・マニュアル整備、教育
	水質、潤滑油、制御油、燃料管理が適切に実施されていない	法令・マニュアル整備、教育、設備追設
	発電所の運転、維持管理に関するマニュアル類が整備されていない	法令・マニュアル整備、教育
	中央制御員、現地巡回員の業務内容が明確化されていない	法令・マニュアル整備
	危険区域に対するルールが確立されていない	法令・マニュアル整備、教育
人材育成 管理	設備運用・保守に対する人材育成体制が確立されていない	法令・マニュアル整備、教育、システム化
	計装関係のメンテナンス部門がない（スペシャリスト不在）	法令・マニュアル整備、教育
	警報に対して敏感ではない、ロジックバイパスして運転優先する	デジタル化、教育
	ツールの機能を活かしきれていない	デジタル化、法令・マニュアル整備、教育
品質安全 管理	品質管理・安全管理の体制の詳細が確立されていない	法令・マニュアル整備、教育
	ポータブル計器の校正等管理基準が確立されていない	法令・マニュアル整備、教育
部品調達 管理	部品調達管理の詳細が確立されていない	法令・マニュアル整備、教育
	調達部品の品質確認手順が確立されていない	法令・マニュアル整備
文書・記録 管理	文書・記録管理が十分でない	デジタル化、法令・マニュアル整備、システム化
	EPGE 本部への連絡手段が電子化されていない	デジタル化、法令・マニュアル整備、システム化
発電記録 管理	現地計器の採取記録が運転管理に活かされていない	デジタル化、法令・マニュアル整備、教育、設備追設
	発電に関する定量的な記録が適切に保存されていない	デジタル化、法令・マニュアル整備、教育、設備追設
	発電に関する定量的な記録を活用できていない	教育
保守計画・ 管理	保守実績の記録項目が明確に定まっていない	デジタル化、法令・マニュアル整備、教育
	保守計画管理のシステムが確立されていない	システム化、LTSA
	定期点検の判定基準等が定められていない	法令・マニュアル整備、教育、LTSA
	定期点検の記録が十分でない	法令・マニュアル整備、教育、LTSA
	予算が無くサードパーティで保守点検を行っている （例：ロータ CRI）	LTSA
	個々のサービスを別けていて、全体の最適化・インテグレーションが無く、問題が発生した時の原因特定が困難	LTSA
予備品 管理	スペアパーツが適正に管理されていない	デジタル化、法令・マニュアル整備、教育、システム化、LTSA
事故・異常 時対応	事故・異常時の対応が明確化されていない	法令・マニュアル整備、教育
	事故・異常時の記録が適切に作成・管理されていない	デジタル化、法令・マニュアル整備、教育
環境管理	環境管理項目が定められていない	デジタル化、法令・マニュアル整備、教育、設備追設
入出門 管理	入退出確認が入出門カードのみであり、管理が十分でない	デジタル化、法令・マニュアル整備、教育、設備追設
	セキュリティー対策が不十分	デジタル化、法令・マニュアル整備、設備追設
設備補修	設備補修が十分でない	法令・マニュアル整備、教育、リハビリ

出典:JICA 調査団

課題抽出の結果を表 5-1 に示す。火力発電設備の維持管理を中心に課題抽出を行った結果、改善方法は大きく①デジタル化、②法令・マニュアル整備、③教育、④システム化、⑤LTSA、⑥リハビリ、⑦設備追設に分類することができる。今後、新規発電所が立ち上がっていくミ国電力事業の安定的な成長・改善のためには、図 5-1 に示すとおり、

- ① 機器供給、リハビリ、LTSA といったハード面でのインフラサポート
- ② マニュアル整備、教育、システム化といったソフト面でのインフラサポート
- ③ デジタルソリューションを通じた、ハード・ソフト両面でのサポート

といった、多角的な電力 O&M インフラ開発こそが、日本企業の強みを生かせるプログラムになると考えられる。そうすることにより、将来新規発電所の建設が進捗してきた暁には、このプログラムを基盤として、EPGE の関係者が自律的に運営していけることも期待できる。



出典:JICA 調査団

図 5-1 ソフト・ハード・デジタルを活用した O&M インフラサポートイメージ

第 1 章 4 項の実施体制で記載したとおり、デジタル・ソフト・ハード面でのサポートを夫々 Solution A, B, C と位置づけ、具体的な適用ソリューションを EPGE と共同で検討・推進することを、EPGE 総裁以下と合意した。上記①～⑦の改善提案との関係を以下に示す。

表 5-2 改善提案項目分類

サポートプログラム	改善提案項目
Solution A (Digital Package)	①デジタル化
Solution B (Soft Infrastructure)	②法令・マニュアル整備 ③教育 ④システム化
Solution C (Hard Infrastructure)	⑤LTSA ⑥リハビリ ⑦設備追設

出典:JICA 調査団

火力発電設備維持管理に関する各項目①～⑦および、水力発電設備維持管理について、課題および改善提案内容の詳細を以下に示す。具体的なソリューションは7章を参照のこと。

## 5.1 デジタル化

調査を通じて各発電所を回った結果、運転やメンテナンスデータなどが紙ベースで管理・運用されており、データが蓄積されていない。過去のトラブル事象やその対策工事等も紙保管され、一定期間経過後には、処分されており、知の蓄積と次への改善アクションが図られていない事が散見された。

更に、各発電所の発電出力等の運転データがリアルタイムに EPGE の本部で管理できておらず、発電出力指令もアナログで指示し、出力制御している。本部各発電所間の情報伝達もアナログでスピードも遅いため、適切な判断を下すまでに時間がかかり、損傷状態から回復するまでの必要な時間が確保できていない。改善方法として、デジタルソリューションを適用する事が推奨される。4章に記載のとおり、今回の調査を通じてティラワ発電所へパイロット機器（遠隔監視装置）を設置しデジタルソリューションの効果を検証しており、同結果を踏まえ最適なデジタルソリューションの適用が進むことが期待される。

## 5.2 マニュアル類の整備

### 5.2.1 現状及びマニュアル整備の必要性

第2章・3章に示すように、火力発電設備運営・維持管理に関する規則・マニュアルは未整備であった。規則・マニュアルを明示していない状況では、業務は自然と多様化、複雑化、無秩序化し、業務の円滑な運行を阻害する。そのため、より効率的な運営が行なえるよう、業務を遂行する上で合理的かつ必要な事項を定める必要がある。以下に、現在関西電力で定めている規則・マニュアルを示す。

表 5-3 関西電力にて定めている規則・マニュアル一覧(共通事項)

業務計画項目	本社機能	火力発電所
力量管理(教育)	・火力発電設備の設計、工事、点検、検査、補修および運転等の火力業務遂行に必要な知識、技能等(専門人材)習得に係る計画的な教育・訓練の手順 ・火力発電所の運転・操作等をその力量がある者が行つか、または運転・操作等を行う者の監督に当たらせるための力量の判断基準	—
文書・記録管理	・業務に活用する文書および業務の実施結果となる記録を適切に維持・管理するための手順 ・火力業務の継続的改善に必要な以下のマネジメントに関する事項	—
業務の評価、改善	(1) 内部監査 (2) 是正処置、予防処置 (3) マネジメントレビュー	—
主任技術者	・火力発電所の事業用電気工作物における主任技術者の職務の詳細	・自家用電気工作物に関する主任技術者への報告書類
法定事業者検査	・火力発電所における法定事業者検査実施のための手順(使用前、溶接、定期) ・上記手順の評価、改善の手順	—
外注管理	・業務委託を行う場合の実施手続の手順 ・工事または購入仕様書に記載すべき当社要求事項 ・納入される機器の品質を確保するための以下の事項 (1) 新規製造者審査、見積徴収可能製造者の管理手順 (2) 機器の受入検査の手順	—
環境保全	・火力発電所における環境保全のための以下の事項 (1) 排水管理 (2) 灰塵管理 (3) 廃棄物処理	・排水処理基準、処理方法 ・廃棄物管理体制、産業廃棄物搬入搬出方法
事故等異常時の措置	・火力発電所における事故等異常時の措置に関する以下の事項 (1) 事故等異常の未然防止 (2) 事故等異常が発生した場合の拡大防止、復旧、再発防止 (3) 事故等の情報共有	—
災害その他非常時の措置	・火力部門の対応体制 ・災害等発生時の対応に関する以下の事項 (1) 火力発電所における被害の拡大防止、復旧手順 (2) 化学薬品による災害・事故等の防止手順	・各所個別に規定が必要な以下の事項 (1) 非難災害対策組織 (5) 避難場所・避難経路 (2) 初動連絡経路一覧表 (6) 自衛消防隊編成表 (3) 地震発生時の設備点検表 (7) 天然ガス専管異常時の対応 (4) 社外防災機関一覧表
安全衛生	・火力発電所における安全衛生に関する以下の事項 (1) 作業時の安全処置 (2) 安全衛生教育および訓練 (3) 環境整備	・構内規制区域図面
経営管理	・経営管理に必要な以下の事項 (1) 給予算枠の内、火力発電所に運用を任せる範囲に関する事項 (2) 熱効率等、火力発電所運営成果を評価するデータ管理に関する事項 (3) その他経営管理に必要な事項	・各所個別に規定が必要な以下の事項 (1) 熱効率日常管理基準値 (2) 実績熱効率検討調査(発電所総合、ユニット別)

出典:JICA 調査団

表 5-4 関西電力にて定めている規則・マニュアル一覧(保守・発電)

業務計画項目	本社機能	火力発電所
発電	・事故等を未然に防止するとともに、機器の性能を維持したうえで、日々の給電指令に従い発電を行うために必要な以下の事項 (1) 当直体制、当直間の引継ぎ事項 (9) 試験 (2) 業務の所管区分 (10) 運転保守 (3) 給電指令への対応 (11) 作業伝票、作業停電 (4) 業務の報告、連絡 (12) 化学薬品の取扱い (5) 運転記録 (13) 燃料試験管理 (6) 運転監視 (14) 水質管理 (7) 機器操作 (15) 潤滑油等の管理 (8) 能率運転	・各所個別に規定が必要な以下の事項 (1) 燃料油設備運用値 (12) 燃料油 $\mu$ -管理表 (2) 運転、保安日誌管理値一覧表 (13) 給水処理方法および水質基準値 (3) 運転操作 (14) $\mu$ の $\mu$ 許容付着量 (4) 事故時操作 (15) 復水器冷却水処理方法 (5) 定期試験 (16) 定期点検時における化学的内部点検 (6) 警報発信時の処置 (17) 燃料 $\mu$ 貯油 $\mu$ 運用上限・下限値集約表 (7) 当直長引継ぎ日誌 (18) 燃料試験方法 (8) 運営担当引継ぎ日誌 (19) 定常機器操作の管理方法 (9) 運転日誌(計算機停止用) (20) E Hガバナ油試験頻度 (10) ユニット起動停止記録(ショック表) (21) 化学薬品管理体制表 (11) 弁・機器施設管理簿
相当期間停止(長期計画停止)	・長期計画停止等運転を相当期間停止する場合において設備の保安を確保するための以下の事項 (1) 保管処置 (3) 休止部分と運転部分の区分、連結部分の分離 (2) 残燃料、操作油の処置 (4) 運転再開に当たっての点検、試運転	—
巡回点検	・火力発電設備の必要な保安を確保し、異常の早期発見により事故等を未然に防止するための巡回点検の手順	・巡回点検表、周期表
識別管理	・火力安全を確保し、確実な給電指令への対応を行うための以下の項目についての識別に関する事項 (1) 設備不具合箇所の識別 (2) 作業箇所の識別	—
保守工の計画および実施	・事故等の防止および設備機能維持に必要な工事を実施するための以下の事項 (1) 工事計画 (2) 工事準備 (3) 作業の実施 ・火力設備の保安を確保するための点検基準および修理基準 ・設備の設置および中長期的信頼性を確保するための基本的要求品質(設計基準、用品規格、標準仕様書等)	・各所設備の保全基準
点検および検査	・火力発電設備の保安確保を維持するとともに、工事中または工事終了時において技術基準に適合していることおよび保安上支障のないことを確認し、事故等を防止するために必要な点検および検査の手順	—
検査・測定装置および試験装置の管理	・検査、測定および試験を厳正に実施し、機器の性能が維持されていることを検証するために必要な検査・測定装置および試験装置の管理手順	・機能の経時変化が大きい計測装置についての周期点検表
識別管理	・火力安全の確保および誤操作を防止し、確実な給電指令への対応を行うための以下の項目についての識別に関する事項 (1) 作業箇所の識別 (2) 機器名称等の識別	—
設備管理	・火力発電設備の必要な保安を確保し、異常の早期発見により事故等を防止するとともに、適切な工事計画を行うための以下の項目に関する事項 (1) 設備の点検 (4) 予備品および付属品の管理 (2) 設備管理データの整備 (5) 設備不具合・懸案管理 (3) 図面の整備 (6) その他必要な事項	・保守課巡回点検周期、点検範囲、点検記録様式

出典:JICA 調査団

## 5.2.2 各課題に対するマニュアルの提案

前述の関西電力で規定している項目の内、ミ国で管理する必要がない項目を除き、全て定めることが望ましいが、一度に全てを定めることは困難である。また、発展途上国に、法体系や社会環境が異なる日本のやり方をそのまま、持ち込んでも、有効でない可能性がある。

2章で述べたように、ミ国ではElectricity Ruleは承認されているが、Electricity Ruleに基づき策定する性能基準に関するRegulationは策定されていない。

現状策定されていない性能基準のRegulationや技術基準(①発電の安全・信頼性・コスト、②発電設備の建設、③運転基準、④保全スケジュール、⑤電気設備の品質)に関しては、次の3ステップにより、ミ国に実情に即したRegulationや技術基準を策定することを、技術協力プロジェクトの1つとして提案する。

### ステップ1 策定するRegulation、技術基準の選定

日本の技術基準や規格類を参考に、ミ国に必要なRegulationや技術基準を選定するとともに、法に基づくRegulationとするのか、あるいは民間規格とするのか体系についても整理する。

### ステップ2 策定プロセスの検討

技術基準等の策定に当たっては、メーカーやユーザの知見のみではなく、学識経験者の参画も不可欠であることから、取組体制(委員会設置他)やスケジュール等、技術基準の策定プロセスについて検討する。

### ステップ3 策定

ステップ2で検討したRegulation、技術基準の策定プロセスに基づき、官学民一体となりミ国に必要なRegulation等を策定する。

上述のRegulation等の策定は長期に亘る技術協力プロジェクトとなることから、即時対応可能な対策として、調査の結果に基づき、特に解消すべきと考えられる課題に対して、以下の通り規則・マニュアルを提案する。



(1) 発電設備運営・維持管理全般

表 5-5 発電設備運営・維持管理全般に関するマニュアル

現状	提案する規則/マニュアル	
	名称	内容/ねらい
水質、潤滑油、制御油が適切に実施されていない	水質管理マニュアル	<p>発電所各設備は水質に起因するスケールや腐食などにより不具合が発生することが知られている。これらの異常兆候の早期発見を行なえば、以下のようなメリットがある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・障害の未然防止による計画外停止の防止、修繕費の削減</li> <li>・プラントの発電熱効率を最良に維持することで、燃料費の削減</li> </ul> <p>本マニュアルでは、適切な水質管理のため、以下の項目を定めるものである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・給水の処理方法</li> <li>・復水器海水漏洩時の処置、休転時及び起動時の処理、ボイラの化学洗浄方法</li> </ul>
	潤滑油管理マニュアル	<p>主タービンなど、発電所主要な機器に使用されている各種油は、動力の伝達、潤滑、プロセスの制御などその役割は大きい。しかし、これらの油は時間経過とともに劣化し、性能が低下し、機械設備などの故障やトラブルを誘発することがある。</p> <p>そこで、潤滑油等による不具合を未然に防ぐため、以下の通り、保守・管理方法について定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・受入時の管理、運転中の管理</li> <li>・管理基準、試験、取替、オイルフラッシング方法</li> </ul>
発電所の運転、維持管理に関するマニュアル類が整備されていない	品質マネジメントシステム（QMS : Quality Management System）の構築	<p>発電所の運転、維持管理に関する規則・マニュアルを体系的に整備し、それらの規則を継続的に改善することは、日常業務を効率化・合理化する上で必要である。ここでは、より効率的に発電所運営を行なえるよう、QMSを構築する。</p> <p>QMS：品質方針・品質目標を設定し、その目標を達成するための以下の活動を行うことである。このQMSを構築することで、発電品質の向上を図る。</p> <p>①組織の品質方針、およびこれに基づく目標を設定し、②それを達成するために部門目標・行動計画等を策定して、③計画通りに業務を実施（管理された状態で：文書化・記録）し、④業務を実施した結果を目標と対比（有効性の評価）し、未達成の場合は原因を分析し、⑤原因を踏まえ、目標を達成するための対策を立案（有効性の改善）し、実施する</p> <p>具体的には、内部監査、是正処置・予防処置、マネジメントレビュー方法等を定める。</p>
中央制御員、現地巡回員の業務内容が明確化されていない	当直員職務の制定	<p>当直員の職務を明文化することで、以下のメリットがある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・業務の均一化（経験が浅い当直員の業務能力の底上げ）</li> <li>・高品質化（熟練当直員のスキルの水平展開）</li> <li>・事故の未然防止（誤操作防止、不具合の早期発見）</li> </ul>

現状	提案する規則/マニュアル	
	名称	内容/ねらい
		<p>そのため、ここでは以下の項目を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・当直体制・業務分担、業務内容</li> </ul>
危険区域に対するルールが確立されていない	構内規制図の作成	<p>構内の作業員にとって、構内のどの位置がどのように危険か知ることは、火災や爆発等の重大災害を防止・安全の確保の観点から重要である。そのため、発電所構内を規制措置の異なる次の3区域に指定し、発電所構内規制区域図として規則に定める。</p> <p>具体的には、以下の項目を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・規制区域の指定、規制内容、構内作業に関する規則</li> </ul>

出典:JICA 調査団

(2) 人材育成管理

表 5-6 人材育成管理に関するマニュアル

現状	提案する規則/マニュアル	
	名称	内容/ねらい
設備運用・保守に対する人材育成体制が確立されていない	人材育成体制を定めるマニュアル	<p>発電所を運営する上で、各業務に関する知識を持った人材が必要である。こういった人材は一朝一夕には育成できない。各人の能力や理解度に基づき、適切な教育を付与することが重要である。そこで、要員の業務遂行に必要な知識・技能等の修得を能力段階に応じて実施する方策を定め、計画的な人材育成と技術水準の維持向上を図る。</p> <p>具体的には、以下の項目を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・専門スキルの設定、能力段階別育成体系、育成計画、各能力段階における目標</li> <li>・配置箇所・育成期間や方法、専門スキルの記録</li> </ul>
計装関係のメンテナンス部門がない（スペシャリスト不在）		<p>また、研修センターにて実施する研修に関して、円滑に業務を行なえるよう、以下の項目を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・研修運営方法（計画策定、企画、実施）</li> <li>・育成記録、各能力段階における専門スキル習得目標・育成計画・習得方法）</li> </ul>

出典:JICA 調査団

(3) 安全管理

表 5-7 安全管理に関するマニュアル

現状	提案する規則/マニュアル	
	名称	内容/ねらい
安全管理の体制の詳細が確立されていない	安全管理 マニュアル	<p>作業員が受傷した場合は、手当てのための対応や作業員の減少など、作業工程を遅延させることにもつながる。よって、作業員の安全を守ることはもちろん、作業を計画的に進めるためには、安全衛生に資する規則を定めることが必要である。そのため、以下の項目等を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・安全衛生について (作業時の安全処置、工事前の安全性事前評価方法・仕様書等への反映)</li> <li>・識別管理 (設備不具合箇所、作業箇所、不活性ガス流入箇所、機器名称等の識別)</li> </ul>
ポータブル計器の校正等管理基準が確立されていない	計器管理基準 マニュアル	<p>計測器やセンサーは購入後、永久に同じ性能を維持しているわけではない。計測器の性能は計測器自体の構成部品などの経年変化や環境の変化、使用状況の影響を受けて徐々に変化する。そのため、定期的に校正を行い、計測機器の健全性及び計測結果の信頼性を高めることが必要である。そのため、以下の項目を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計器管理方法 (器差設定、計器の個別管理、据付、記憶媒体の管理、点検、異常時の是正)</li> <li>・標準器類の管理 (備付、運用、標識、使用履歴管理、検査、異常時の是正)</li> </ul>

出典:JICA 調査団

(4) 部品調達管理

表 5-8 部品調達管理に関するマニュアル

現状	提案する規則/マニュアル	
	名称	内容/ねらい
部品調達管理の詳細が確立されていない	部品調達 マニュアル	<p>発電所の各設備の健全性を保つためには、主要部品から消耗品まで多くのものを調達する必要がある。そういった部品調達業務を定めることで、以下のようなメリットがある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・業務簡素化により、省力化</li> <li>・検査方法の均一化により、調達部品の品質維持</li> <li>・コスト低減</li> </ul>
調達部品の品質確認手順が確立されていない		<p>そのため、以下の項目等を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・簡易な調達種別の設定、検査方法、保管・不用品売却</li> <li>・見積、仕様書記載事項等</li> </ul>

出典:JICA 調査団

(5) 文書・記録管理

表 5-9 文書・記録管理に関するマニュアル

現状	提案する規則/マニュアル	
	名称	内容/ねらい
文書・記録管理が十分でない	文書管理 マニュアル	<p>発電所においても、多くの文書によって記録・引継ぎ・報告等の業務が行なわれている。そのため、それらの文書の運用方法や改善方法が定めることは、発電所における業務全般の品質や効率の向上につながる。ここでは、文書管理全般に関する以下の項目等を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・責任と権限</li> <li>・文書業務（是正・予防、暫定運用、整定改廃、修正・周知、登録、保管、貸出し、記録の更新、削除、リテンション）に関する規則</li> </ul>

(6) 発電記録管理

出典:JICA 調査団

表 5-10 発電記録管理に関するマニュアル

現状	提案する規則/マニュアル	
	名称	内容/ねらい
現地計器の採取記録が運転管理に活かされていない	現地記録採取マニュアル	<p>発電所において、全ての計器の値が中央制御室で確認できるわけではない。現地でしか確認できず、かつ機器の運転状態の管理を行なうあたり必要な値がある。そういった現地記録すべき値を整理することで、以下のようなメリットがある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・記録業務の効率化</li> <li>・機器管理品質の向上</li> </ul>
発電に関する定量的な記録が適切に保存されていない	発電データ管理マニュアル	<p>発電所では日々大量のデータが収集される。その中で、発電に関する代表的なパラメータを用いて、管理することで、以下のようなメリットがある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発電品質の向上</li> <li>・不具合の早期発見により、計画外停止の減少</li> <li>・不具合発生時の原因究明への活用</li> </ul> <p>そのため、ここでは、以下のようなデータ統計処理に関する基本事項を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・管理するデータ種別</li> </ul> <p>管理に必要な運転実績データ、燃料消費実績、起動停止実績、最大電力や主要部の圧力・温度などの保安日誌データ、所内電力量データ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・管理方法</li> </ul> <p>実績把握、上位機関への報告</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・基準値管理</li> </ul> <p>起動停止実績管理基準値および熱効率管理基準値の管理</p>

現状	提案する規則/マニュアル	
	名称	内容/ねらい
	熱効率管理 マニュアル	<p>O&amp;Mの目的は、発電所の状態を健全に保ち、安定して発電を行なうことである。この発電所の状態の一つとして、熱効率がある。熱効率を管理することで、以下のメリットがある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・性能低下要因、異常兆候の早期発見、対策立案への活用</li> <li>・早期回復による熱効率の維持・向上を図ることができる</li> <li>・発電計画用基準値への的確な反映による効率的な運用</li> </ul> <p>ここでは、以下に示すような熱効率管理に関する基本事項を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱効率管理基準の策定</li> <li>・実績熱効率管理（日々、月次）</li> </ul> <p>実績確認、偏差の究明、報告、不具合が認められた際の対応</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・性能試験</li> </ul> <p>試験種別、実施方法（条件、頻度、記録様式等）、不具合が認められた際の対応</p>

出典:JICA 調査団

(7) 保守計画・管理

表 5-11 保守計画・管理に関するマニュアル

現状	提案する規則/マニュアル	
	名称	内容/ねらい
保守実績の記録項目が明確に定まっていない	定期点検マニュアル	<p>メンテナンスを行なう上で、点検方法や判定基準、記録方法等について定めることは、重要である。例えば、点検方法が定められていない場合、点検実施者や点検タイミングによって異なり、正しく点検できない可能性がある。また、判定基準が定められていない場合、実際には部品等を交換すべき状態にもかかわらず、問題ないと判断し、逆に問題がないにもかかわらず、交換を行なうなど、正しいメンテナンスが行えない可能性がある。また、記録が適切に保存されていないと、経年的な劣化量や健全な状態での点検結果を把握できず、メンテナンス計画の立案や不具合発生時の適切な対処方法立案を行えない。</p> <p>よって、以下に示すよう、発電所共通事項と発電所毎に必要な項目を定める。</p> <p>(1) 発電所共通/全般</p>
定期点検の判定基準等が定められていない		

現状	提案する規則/マニュアル	
	名称	内容/ねらい
定期点検の記録が十分でない		<p>点検および検査項目の細部事項を規定するとともに、火力発電所等の設備の信頼性確保および保全コストの低減の両立を図るため、リスク評価に基づいた設備の点検基準の策定および見直しに関する実施要領を定める。また、点検方法および判定基準を示し、開放点検については、その確認項目および判定基準を示す。</p> <p>(2) 各所毎</p> <p>発電所各所において、設置されている設備は異なる。これらの設備の健全性を各発電所内の設備実態ごとに、維持するとともに、経年劣化による事故を未然に防止するため、保全内容を定める。また、点検基準に基づき発電所で実施する検査、開放点検時の判定基準について定める。</p>

出典:JICA 調査団

(8) 予備品・付属品管理

表 5-12 予備品・付属品 管理に関するマニュアル

現状	提案する規則/マニュアル	
	名称	内容/ねらい
スペアパーツが適正に管理されていない	予備品・付属品管理マニュアル	<p>スペアパーツが適切に管理されていないと、以下のような不具合が発生し、無駄なコストが発生する可能性がある。特にガスタービンの高温部品等は高価であり、適切に管理されていないことで被るデメリットは大きい。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・過剰な所持（他所と共有できる性質があるスペアパーツを各所で所持等）</li> <li>・不要な所持（旧品と新品が混在）</li> </ul> <p>ここでは、以下の通り、スペアパーツの管理、保管等の細目を定め、予備品の適正な運用を図ることを目的とする。また、機器の付属品（特殊工具、特殊台車）についても、同様に管理方法を定め、適切に維持する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・予備品の品目・基準数量、管理方法（保管、個別管理）、管理システム運用方法</li> <li>・付属品の品名・標準数量、管理方法（保管、貸出、除却、個別管理）</li> </ul>

出典:JICA 調査団

(9) 事故・異常時対応

表 5-13 事故・異常時対応に関するマニュアル

現状	提案する規則/マニュアル	
	名称	内容/ねらい
事故・異常時の対応が明確化されていない	事故時対応マニュアル	<p>事故や異常発生時、状況に応じた対処方法を予め整理しておく、適切に対処でき、不具合事象が拡大し、被害が増大を防ぐことが出来る。また、関連事故情報および事故等の発生が予想される情報の取扱いについて整理することで、事故等の再発防止および未然防止を図ることができる。</p> <p>ここでは、以下に示すような、事故等および所内トラブルに対する処置を定める。</p> <p>(1) 事故等異常の未然防止</p> <p>ヒヤリハット事例シート・報告、検討・職場内での共有</p> <p>ただし、ヒヤリハットとは、事故に至る可能性があったものの、事故に至る前に発見され、防ぐことができたことを言う。</p> <p>(2) 事故等異常が発生した場合の対応方法</p> <p>a. 拡大防止、復旧</p> <p>各事故事象に対する情報（考えられる原因、各警報等設定根拠、現象の詳細）や処置/操作方法、ロジック図やフロー図</p> <p>b. 情報共有・報告</p> <p>事故速報、当該作業・操作状況記録、報告書作成、社内上位機関等への報告</p> <p>c. 再発防止、水平展開</p> <p>検討（関係者インタビュー、F T図等による）、検討記録の保存、他所を含む水平展開</p>
事故・異常時の記録が適切に作成・管理されていない	事故時記録マニュアル	<p>事故や異常を完全に防ぐことは難しい。しかし、これまでに発生した事故等の情報を適切に管理するなどし、事故が発生した際の対応力を予め高めておくことは可能である。</p> <p>ここでは、以下のような事故時の状況の記録・管理方法を定める。</p> <p>・各種記録の様式及び運用フロー（ヒヤリハット事例シート、事故等速報・所内速報、水平展開、再発防止対策検討）</p>

出典:JICA 調査団

(10) 入出門管理

表 5-14 入出門管理に関するマニュアル

現状	提案する規則/マニュアル	
	名称	内容/ねらい
入退出確認が入出門カードのみであり、管理が十分でない	入構管理マニュアル	<p>発電所は多くの人員によって運営されている。適切に発電所を運営するためには、これらの人々の入構管理を行わなければならない。例えば、入構時に最低限知りおくべき留意事項を周知し、入退室管理を適切に行わなければならない。入構者の安全が確保できない。また、入構者数等を管理していなければ、非常災害発生時等において入構者の安否確認を確実に実施できず、対応が遅れる。</p> <p>ここでは、以下の通り、入構管理を行なう上で必要な項目を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・入構者教育（入構者の目的地以外の立入禁止、避難場所等）</li> <li>・入構者管理方法</li> </ul>
セキュリティー対策が不十分	セキュリティーマニュアル	<p>発電所の機器は安定して運転しているものの悪意のある行動で、危険な状態になる可能性はもちろん、発電への影響を生じる可能性もある。そのため、不審者侵入時の対応方法を定め、不測の事態に備える。</p>

出典:JICA 調査団

(11) 設備補修

表 5-15 設備補修に関するマニュアル

現状	提案する規則/マニュアル	
	名称	内容/ねらい
設備補修が十分でない	保全基準	<p>機器は多くの部品から構成されており、限られた予算の中で、全ての部位を点検することは難しい。また、各部位によって不具合の発生確率もその波及効果も異なる。</p> <p>そこで、不具合の起こりやすさや不具合発生時の影響の観点から、点検内容の取捨選択および点検周期を定める手法がある。この手法を使えば、不具合が殆ど発生せず、不具合発生時の影響も小さな部分の点検を省略し、不具合が頻発しその波及効果が大きな部位の点検を充実させる等が行なえ、信頼性確保および保全コストの低減の両立を図ることができる。</p> <p>ここでは、点検機器及び部位、点検方法（NDI 種別等）、点検周期、設備改修基準などを定めることで、リスク評価に基づいた点検基準の策定を行なう。</p>

出典:JICA 調査団

5.3 教育

5.3.1 課題

第2章、3章で述べたように、水力発電部門では Paunglaung 研修所での教育が実施されており、ある程度の教育資料、体制が確立されているものの、火力発電部門では、研修所の設備が十分でなく、



研修の機会が限られている。火力向けの研修所については、Electricity Ruleの中で設置することが認められているが、現状はまだ設置されていない。

また、研修機会は本部メンバーのみの場合が多く、発電所員の教育が不足している。発電所員の教育は、基本的に現地でのOJTのみであるが、OJTは教育資料がなく、経験者の伝承のみであることから、経験者によって教育の内容、質に差が生じている。

不具合対応の際にも、発電所が直接OEMと連絡をとることができず、OEMから知識・技能を修得する機会も限定されている。

人材育成、教育管理の仕組みが構築されていないことから、継続的な知識・技能向上は困難な状況にある。まずは、それぞれの項目について、その必要性を認識する意識改革を行ったうえで、専門スキルの教育を行っていくことが必要である。

今回実施した現地調査で確認できた、教育体制が不十分なことに起因する課題、必要な教育内容の一覧を表 5-16 に示す。

表 5-16 教育に関する課題

項目	課題	求められる教育
法令・規則・マニュアル整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ マニュアル類の整備の必要性を認識できていない</li> <li>✓ 水質、潤滑油、制御油、燃料管理の重要性を認識できていない</li> <li>✓ 危険区域を定める必要性を認識できていない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ マニュアル類の必要性</li> <li>✓ 文書に規定することの必要性</li> <li>✓ 法令、規則の体系的な構築方法</li> </ul>
人材育成管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 人材育成、技量把握の重要性を認識できていない</li> <li>✓ 専門分野（化学、計測器、制御装置）の人材が不足している</li> <li>✓ 警報項目の危険性を認識できていない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 人材育成・技量把握の管理の重要性</li> <li>✓ 専門分野スキル</li> <li>✓ 水質管理、計器校正、制御装置活用の必要性および方法</li> </ul>
品質安全管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 品質、安全管理に対する意識が低い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 品質、安全管理の必要性および方法</li> </ul>
部品調達管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 部品調達管理に対する意識が低い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 部品調達管理の必要性および方法</li> </ul>
発電記録管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 発電に関する記録の必要性が認識できていない</li> <li>✓ 燃料使用量、発電効率に対する意識が低い</li> <li>✓ 記録計の維持管理に対する意識が低い</li> <li>✓ 記録の活用方法を理解できていない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 発電に関する記録の必要性</li> <li>✓ 経済性に関する意識改革</li> <li>✓ 計器校正の必要性および方法</li> <li>✓ 性能管理の必要性および方法</li> </ul>
保守計画・管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 経験により判断しており保全基準（判定基準）の必要性を理解していない</li> <li>✓ 定期点検記録管理への意識が低い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 保全基準の必要性</li> <li>✓ 判定基準の考え方</li> <li>✓ 点検記録の必要性および方法</li> </ul>
予備品管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 予備品管理に対する意識が低い</li> <li>✓ 予備品に関して管理する項目を理解できていない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 予備品管理の必要性</li> <li>✓ 予備品の管理するべき項目および方法</li> </ul>
事故・異常時対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 異常状態（警報）への意識が低い</li> <li>✓ 不具合原因に対する要因分析・再発防止対策への意識が低い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 警報対応に対する意識改革</li> <li>✓ 不具合原因の検討、要因分析の手法</li> <li>✓ 再発防止対策の必要性</li> <li>✓ 過去の不具合事例</li> </ul>
環境管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 環境対策への意識が低い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 環境管理の必要性および方法</li> </ul>
入出門管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 入出門管理への意識が低い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 入出門管理の必要性および方法</li> </ul>
設備補修	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 保全に対する意識が低い</li> <li>✓ 不具合を発見する専門知識が不足している</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 保全の必要性</li> <li>✓ 発電所運営に対する影響</li> <li>✓ 設備ごとの専門知識</li> </ul>

### 5.3.2 トライアル研修

JICA 技術協力プロジェクトの適用可能性を検討するために、表 5-16【教育に関する課題】で記載している第1回調査のO&Mの状況に関する調査結果を考慮し、第2回現地調査時2018年12月11日～13日（3日間）に、アーロン発電所でトライアル研修を実施した。

実施したトライアル研修項目、スケジュールを表 5-17、図 5-2 に示す。

表 5-17 トライアル研修項目

No	研修名	内容
1	GT 研修	GT の仕組みとメンテナンスの必要性
2	運転シミュレーション	CCGT 運転時のトラブルシューティング
3	QMS	品質管理システムの必要性、管理方法の概要
4	安全対策	安全活動の必要性、安全対策の概要
5	性能管理	性能管理の必要性、管理方法の概要
6	振動診断技術	診断の必要性、診断方法の概要
7	潤滑油管理	診断の必要性、診断方法の概要
8	水質管理	水質管理の必要性、管理方法の概要
9	設備診断技術	非破壊検査の必要性、検査手法の概要

出典:JICA 調査団

時間	12月		
	11日(火)	12日(水)	13日(木)
9:00 - 9:50	ガスタービンの仕組みとメンテナンスの必要性	QMS	設備診断技術
休憩			
10:00 - 10:50	ガスタービンの仕組みとメンテナンスの必要性	安全対策	タブレットツール【デモ】
休憩			
11:00 - 11:50	ガスタービンの仕組みとメンテナンスの必要性	性能管理	遠隔監視システム【デモ】
昼休憩			
13:00 - 13:50	CCGT運転時のトラブルシューティング	振動診断技術	ガス検知器【デモ】
休憩			
14:00 - 14:50	CCGT運転時のトラブルシューティング	潤滑油管理	サーモカメラ【デモ】
休憩			
15:00 - 15:50	CCGT運転時のトラブルシューティング	水質管理	質疑応答・アンケート
休憩			
16:00 - 16:50	質疑応答・アンケート	質疑応答・アンケート	会場：アーロン発電所

図 5-2 トライアル研修・計器デモ 時間割

出典:JICA 調査団

本トライアル研修は、各発電所から、エンジニアを中心に14名が参加した。参加者リストを表 5-18 に示す。

表 5-18 トライアル研修参加者リスト

No.	役職	部門（専門）	発電所
1	Assistant Engineer	電気	ティラワ
2	Assistant Engineer	電気	
3	Executive Engineer	電気	
4	Assistant Engineer	電気	イワマ
5	Executive Engineer	機械	
6	Assistant Engineer	電気	
7	Executive Engineer	電気	タケタ
8	Executive Engineer	機械	
9	Assistant Engineer	機械	
10	Assistant Engineer	機械	アーロン
11	Assistant Engineer	電気	
12	Assistant Engineer	機械	
13	Assistant Engineer	電気	ローガ
14	Assistant Engineer	機械	

出典:JICA 調査団

研修実施後のアンケートで、全体的な満足度や希望するトレーニングメニューを確認し、以下のよ  
うな結果を得ている。

表 5-19 参加者アンケート結果

参加者：14名

No.	満足度	人数
1	非常に満足	10
2	満足	1
3	普通	3
4	不満	0
5	非常に不満	0

出典:JICA 調査団

希望するトレーニングメニュー

- ✓ 実技研修
- ✓ シミュレータを使用した実技研修
- ✓ 最新鋭（高出力、高効率）の CCGT 技術
- ✓ ガスタービン H-25 の点検内容の詳細
- ✓ 発電所の運用オペレーション 等



図 5-3 トライアル研修

研修参加者に確認したところ、発電所新設時には OEM から主要機器の特徴や機器単体の取扱いに  
関する説明を受けるケースもあるものの、安全管理、性能・品質管理、診断技術等の発電所運営に

関する項目については、研修を受けたことはないとのことであった。

トライアル研修を実施した結果、ガスタービン保守や振動測定等、自らが担当している技術的事項については、説明内容に対する質問も行われたが、安全管理、性能・品質管理については、その重要性を十分に認識できておらず、関心も低い状況であった。

今回の研修参加者は、各発電所の主要メンバーであったことを考慮すると、発電所運営の基礎となるOJTのみでは学ぶ機会の少ない、安全管理対策、性能・品質管理等については、意識改革も含めて継続的な研修の実施が必要であると考えられる。

現地OJTは、経験に基づく技術の伝承を中心に行われていることもあり、実施する指導者によって指導項目・内容が異なっていることも確認された。経験に基づく技術伝承は重要であるものの、新規配属者に対しては、一定の水準に達するまでの基礎教育を体系的に行うことが必要であると考えられる。教育の仕組みを構築し、指導項目や育成状況を管理・把握することで、現在行われているOJTをより効果的に行うことができる。

また、発電所におけるOJTの実施状況を見ると、経験豊富な特定の技術者（所長、チーフエンジニア）に頼っている状況であり、彼らが引退、異動した際に技術伝承が適切に実施されない可能性が考えられる。こうした状況からも、教育の仕組みを構築することは重要である。

一方、現地の直営作業の実施状況からも、個々の技術的なスキル技量は高いレベルにあり、研修中に受けた技術的な質問等の受講状況から向上心も高いレベルにあると評価できる。このため、O&Mを適切に行うための体制構築し、各スタッフ人のレベルに応じた学習教材、機会を準備することで、O&Mを適切に行うための体制構築、スタッフの能力向上およびより高いレベルでの発電所運営は可能になると考えられる。

研修後に聞取ったアンケートでは、シミュレータを含めた実技研修への要望が多く寄せられた。

今回は、トライアルであり時間も限られていたことから机上研修のみとなったが、机上のみでなく実技研修を合わせて実施することで、学んだ内容を実際にどのように活用するのか体験でき、効率的な技術力向上が図れると考える。

また、発電所の運転に関して、シミュレータ設備を用いることで、起動停止を含めた通常の運転手順および事故・不具合時の応急処置、復旧手順を訓練することができる。

これらの訓練は、計画外停止率が高くなっており、電力量が不足しているミ国にとっては非常に有効なものとなる。発電所での教育体制が確立され、運転、事故時対応などのマニュアル類が整備された後、さらなるレベルアップのため、訓練センターもしくは、代表発電所にシミュレータ設備を設置し、研修に活用していくことを検討すべきである。

トライアル研修の中では、発電設備の運用および点検に活用できる可能性があるIT機器について説明し、実際にデモとして使用してもらう機会を設けた。参加者は現地でサーモカメラ等を積極的に使用し、機能を確認していた。

ミ国ではスマートフォンをはじめ、IT機器の普及が急速に進んでおり、これらの個人のコンピュータリテラシーは比較的高いレベルにある。

このような背景から、IT機器導入に対しては、抵抗感は少なく、効果が期待できる。個別の機器活用の可能性、デモの結果については6章にて詳細を記載する。

### 5.3.3 改善提案

#### (1) 人材育成管理仕組み

人材育成、教育管理の仕組みが構築されていないため、まずは人材育成、管理の仕組みを構築し、基礎教育、専門教育を育成者のレベルに合わせて段階的に実施していくことを提案する。

国内電力では、効率的な火力発電所運営を行うために、火力専門技術を段階的に身につけていくための教育体系を構築している。段階的教育（研修）体系の例および係員の専門スキル教育プログラムの例を図 5-4、図 5-5 に示す。

ミ国における発電所組織体系や雇用体系を考慮し、効果的な教育体系、教育プログラムを策定することが重要である。



出典:JICA 調査団

図 5-4 火力部門 研修体系概要

階層	共通基礎	職能基礎	応用 I	応用 II
能力	見習い	戦力 (役職者の指導・助言が一部必要)		育成・指導
機械	保修共通基礎	ボイラ & タービン 基礎コース	ボイラ & タービン 応用 I コース	寿命診断 応用 II コース
		ファン/バルブ/ポンプ 基礎コース	技術基準 応用 I コース	
		ガスタービン 基礎コース	金属材料 応用 I コース	ガスタービン 応用 II コース
			燃焼技術 応用 I コース	ボイラ 応用 II コース
		溶接技術 コース		
電気		電気 基礎コース	電気 応用 I コース	AVR 応用 II コース
		モータ/バルブ 基礎コース	変圧器 応用 I コース	発電機 応用 II コース
		ガスタービン 基礎コース		
計装		計装 基礎コース	計装 応用 I コース	ガスタービン 応用 II コース
		ガスタービン 基礎コース	計装機保全 応用 I コース	燃焼技術 応用 II コース

図 5-5 保修員 教育プログラム

出典:JICA 調査団

これらの教育プログラム等による共通、専門スキルの習得状況をチェックし、弱点箇所について再度 OJT 等によりフォローするため、育成状況を記録・管理している。本育成状況管理システム (SRS : Skill Record System) については、5 章 4 節【システム化】で詳細を記載する。

記録管理を適切に行うことで、人員の発電所間での配置変更等があった際にも、継続して必要な教育を行うことができる。

次のステップでは、MOEE でカウンターパートを選任し、MOEE に必要な育成システムを、自らで構築すべく、専門家を派遣して、支援する必要がある。

また、育成システムの構築の一環として、ミ国内で実機研修を行える研修施設の整備も重要である。

(2) 運転維持管理の研修 (本邦研修)

将来的には、ミ国において上述した人材育成管理の仕組みを構築した上で、研修所等の教育環境を整え、継続的な教育を実施していくことが望まれるが、現段階においては運転維持管理の実績や研修設備、テキスト類の整備が十分でない。

これらの状況から、まずは教育プログラム、施設が整っている日本国内において発電所における中核メンバーの運転維持管理の教育を行うことを提案する。

教育プログラムのイメージを図 5-6 に示す。



出典:JICA 調査団

図 5-6 教育プログラム

また、研修を効果的に実施するため、教育対象者（エンジニア、テクニシャン）に合わせた研修内容を選択することが望ましい。

エンジニア、テクニシャン研修で想定している研修内容を表 5-20 に示す。

表 5-20 研修内容

a) エンジニア研修
<ul style="list-style-type: none"> <li>・火力発電技術者の人材育成方法</li> <li>・CCGT 発電の保守技術 (GT・ST・HRSG・電気・制御システム)</li> <li>・設備診断技術 (非破壊検査・余寿命評価等)</li> <li>・火力発電所の品質管理 (TQM)、効率管理</li> <li>・アクションプラン作成指導</li> <li>・火力発電所及びメーカー工場見学</li> <li>・IoT・AI 活用方法指導</li> </ul>
b) テクニシャン研修
<ul style="list-style-type: none"> <li>・品質管理</li> <li>・安全管理 (体感研修)</li> <li>・設備点検保守技術 (配管・弁・電動機・溶接・電気機器・制御機器等)</li> <li>・設備診断技術 (非破壊検査・余寿命評価等)</li> <li>・アクションプラン作成指導</li> <li>・火力発電所及びメーカー工場見学</li> <li>・IoT・AI 活用方法指導</li> </ul>

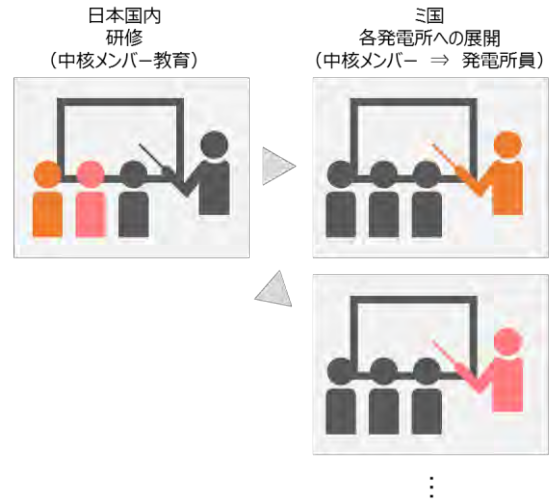
出典:JICA 調査団

### (3) 現地運転支援

本邦研修後のフォローアップおよび現地 OJT への展開のために、技師派遣による現地での運転支援を提案する。

本邦研修の対象者は、各発電所の中核メンバーを想定している。EPGE 組織、各発電所全体の意識改革、知識・技能の底上げを行うためには、参加者が本邦研修で学んだ内容を実際の発電所維持・運営に活用していくと共に、他のメンバーに展開していくことが重要となる。

この現地でのさらなる展開をフォローするため、代表発電所に各分野の専門技師を定期的に派遣し、現地での他のメンバーへの教育展開状況や、実務での活用状況のフォローアップを行うことを想定している。



出典:JICA 調査団

図 5-7 現地教育展開

## 5.4 システム化

本節では、5.2 で説明した整備したマニュアルを効果的に運用していくために有効であると考えられるシステム化について述べる。

以下のシステムをベースとし、ミ国に適合した運用システム構築と運用支援を遠隔も含めたサポートを想定している。

### 5.4.1 人材育成管理システムの提案

前項 5.3.3(1)で説明した人材育成プログラムで習得したスキルを適切に把握し、「計画的」に人材を育成するためのシステム（データベース化）を提案する。

以下に管理項目およびデータベース例を示す。

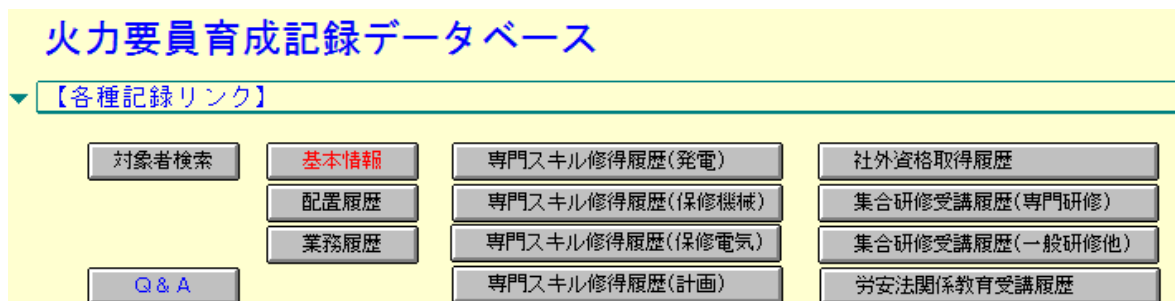


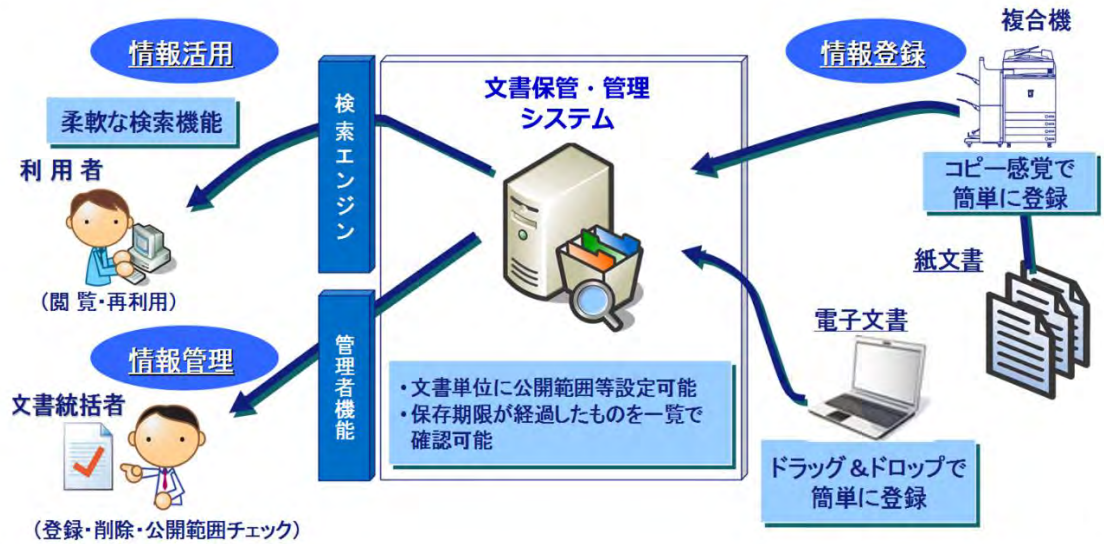
図 5-8 育成記録データベース記録項目例

出典:JICA 調査団



### 5.4.2 文書の電子化の提案

巡回点検等で採取した記録、定期点検記録等を電子化し保存および閲覧できるシステムを提案する。  
以下に管理システム例を示す。



出典:JICA 調査団

図 5-9 文書電子化システムイメージ図

### 5.4.3 保守計画・実績管理システムの提案

定期点検実績が、次回保守計画に適切に反映できるシステムを提案する。  
以下にシステム活用イメージとシステム例を示す。

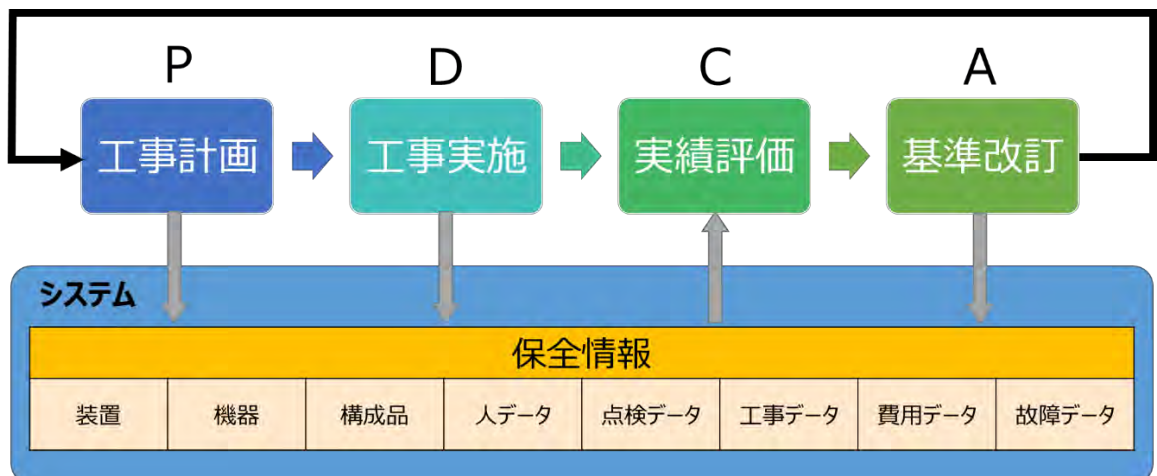


図 5-10 システム活用イメージ

出典:JICA 調査団

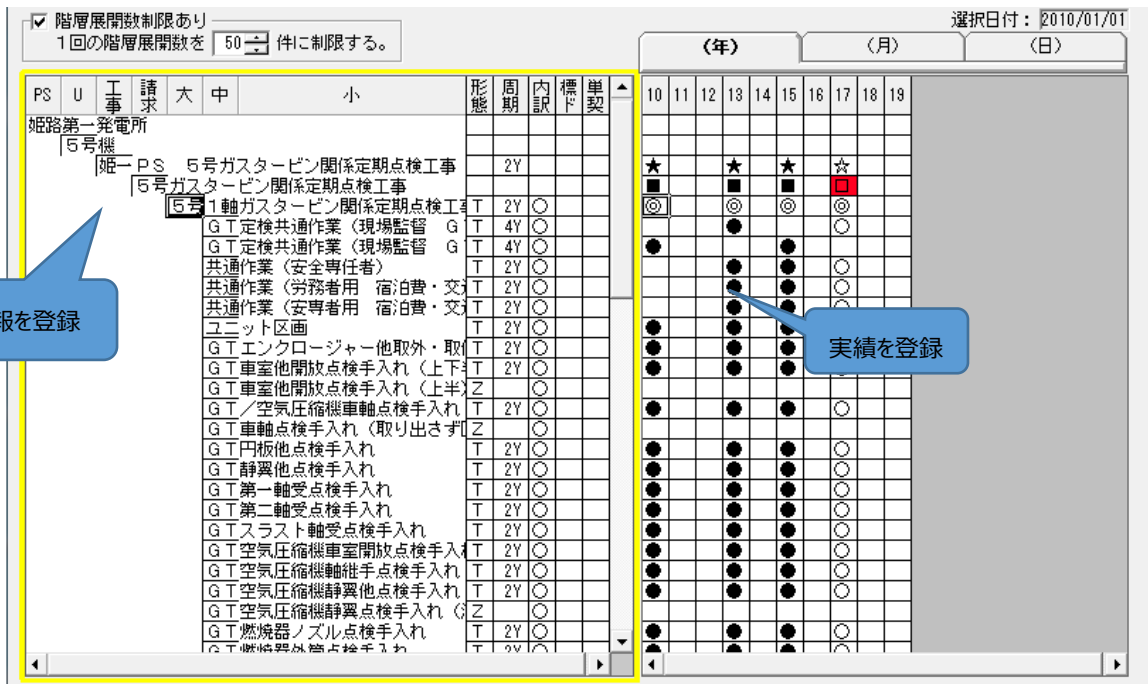


図 5-11 管理システム例

出典:JICA 調査団

#### 5.4.4 予備品管理システムの提案

予備品の仕様、在庫が一括管理出来るシステムを提案する。

以下にシステム例を示す。

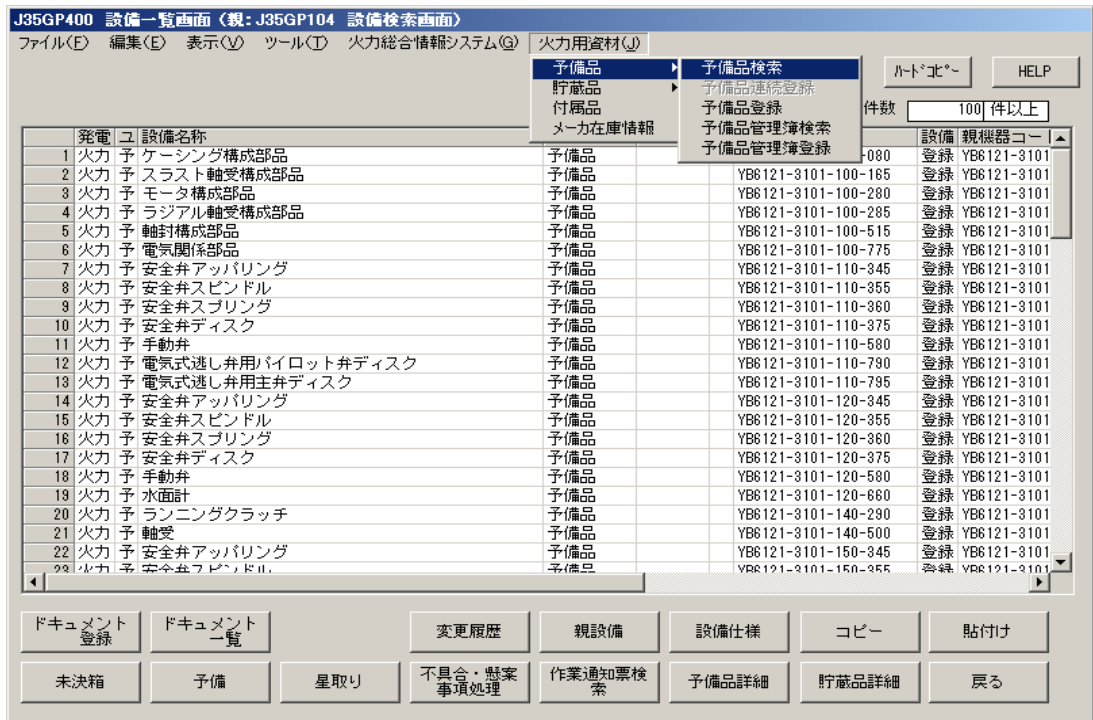


図 5-12 予備品一覧管理イメージ

出典:JICA 調査団

整理番号: 900010-001 承認ステータス: 登録 ステータス:   
 発電所: 姫路第一発電所 ユニット: G1 所属機器: ガスタービン本体   
 品名1: 主軸受 品名2: 予備主軸受   
 基準数量: 1 単位: 組   
 仕様1: 用途: ガスタービン第1軸受用 単位:   
 仕様2: 内径: 単位:   
 取得年月日: 2012/08/13 材質:   
 製造者: 大同ミタル工業

承認	年月日	摘要	倉入数量	倉出数量	良品-残高数量	要修理-残高数量	計-残高数量	倉入予定日
	2012/08/13	取得	1			0	1	

承認履歴 印刷 戻る

図 5-13 予備品数量管理イメージ

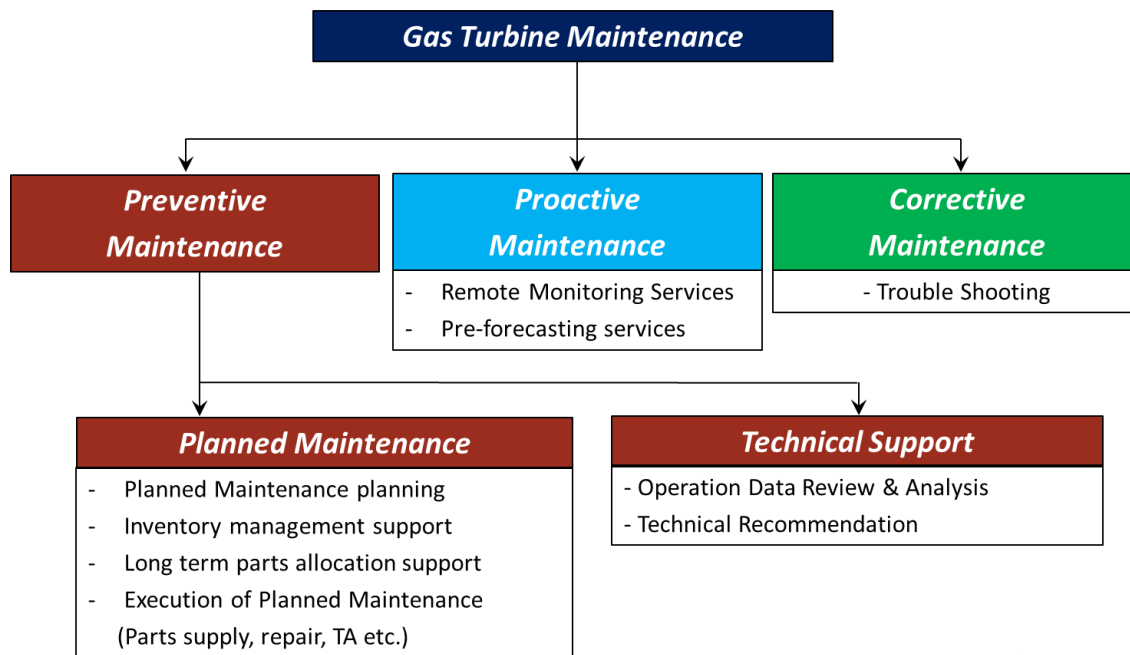
出典:JICA 調査団

#### 5.4.5 部品管理システム

各発電所で保管されている部品は、数量・寿命・互換性管理についてできていない部分がある。提案としてはヤンゴン市内に部品倉庫を設け、管理システムを導入し、一括管理する事で、無駄のない部品購入・活用計画の立案を推奨する。

### 5.5 LTSA

メンテナンスに関しては、保守計画管理のシステムが確立されておらず、定期点検の判定基準が定められていない。定期点検の記録も十分でなく、何より O&M 予算が無い事から、廉価なサードパーティ品の投入を避けられず、結果的に O&M 不良のため製品の寿命到達前に損傷し停止しているプラントもある。O&M セクターに適切な予算を施し、Preventive Maintenance、Proactive Maintenance、Corrective Maintenance の正しいサイクルを回していく事が、電力の安定供給と最適運転による燃費削減につながる。



出典:JICA 調査団

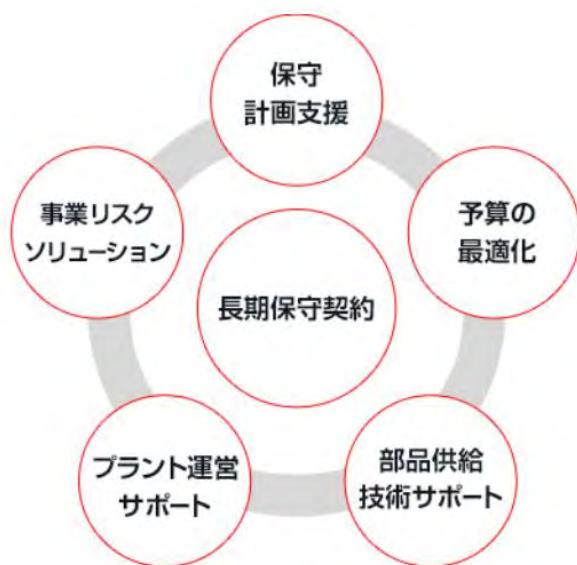
図 5-14 ガスタービンメンテナンスのフレームワーク(例)

改良提案としては、長期メンテナンス契約(Long Term Service Agreement: LTSA)により、長期間にわたる部品供給とテクニカルサポートが有効打になると考えられる。

LTSA としては、次のような包括的なサービスの提供が期待できる。

- プラント稼働率の最大化と運転・保守コストの最適化の両立に貢献する短期・長期の保守計画支援
- 予算の最適化を実現する保守項目のパッケージ化
- ニーズに併せた部品供給・技術サポートの提供
- 24 時間、365 日の遠隔監視サービスやデータ診断サービスとそれを活用した燃料転換、運転負荷変更、計画点検周期の長期化などプラント運営の最適化
- 稼働率の低下や想定外の損傷など事象リスクに対するソリューションの提案等

長期メンテナンス契約と呼ばれる LTSA の契約内容には、様々なバリエーションが存在する。サービスや部品の単価を合意しておき都度発注して頂く方法や、あるいは、ランプサムで全体包括したサービスパッケージとする方法など、EPGE ニーズに沿って様々な価値提供を検討する事ができる。こういったメニューを適用するかについては、資金面などの兼ね合いにもよるので一概には言えないが、一般的にはあまりメンテナンス経験や知識が豊富でない場合、最初は包括的な LTSA で提供し、年数の経過に応じスキル向上に連動する形で部品単価契約などに切り替えていく等といった方法が採用されるケースが傾向としては多いのではないかと考える。



出典:JICA 調査団

図 5-15 長期保守契約による包括的なサービス提供パッケージ(例)

## 5.6 リハビリ & 設備追設

### 5.6.1 Short Term Recommendation

設備補修が十分に行き届いていない発電所に対しては、早期普及の為のリハビリテーションが求められる。各火力発電所は老朽化が進んでいる一方で既にリハビリ工事が決定している案件も存在する。現状を下記表の通り整理する。

表 5-21 プラント停止状況及びリハビリ計画状況

プラント	GT型式	号機	GT	GEN	GT AUX	HRSG	ST	ST AUX
Ywama	701D	1	停止			NA		
		2	稼働 (負荷制限)			NA		
	H-25	1	停止					
	Fr.5	1	停止			NA		
		2	稼働			NA		
	Thaketa	Fr.5	1	稼働			停止	
2			停止					
3			稼働					
Hlwaga	Fr.6	1	稼働			稼働	稼働	稼働
		2	稼働					
		3	停止					
Ahlone	Fr.6	1	稼働			停止		
		2	稼働					
		3	稼働					
Thilawa	H-25	1	稼働			NA		
		2	稼働			NA		
Ywama	701D	1	無	無	無	NA		
		2	無	無	無	NA		
	H-25	1	無	無	無	無	無	無
	Fr.5	1	無	無	無	NA		
		2	無	無	無	NA		
	Thaketa	Fr.5	1	有	有	有	無	無
2			有	有	有	無		
3			有	有	有	無		
Hlwaga	Fr.6	1	無	無	無	無	無	無
		2	有	有	有	有		
		3	有	有	有	有		
Ahlone	Fr.6	1	無	無	無	無	無	無
		2	無	無	無	無		
		3	無	無	無	無		
Thilawa	H-25	1	無	無	無	NA		
		2	無	無	無	NA		

出典:JICA 調査団

表 5-22 発電所毎のリハビリスコープ&概要案

プラント	GT型式	号機	GT	GEN	GT AUX	HRSR	ST	ST AUX
Ywama	701D	1	GT/GEN開放点検(サージ事故対策) 吸気フィルターチョーク対策 補機更新工事 (LO Cooler)				NA	
		2	GT開放点検(移設後初工事) GEN開放点検(ベアリング温度高対策) 吸気フィルターチョーク対策 補機更新工事 (LO Cooler)				NA	
	H-25	1	GT開放点検+GTO-ター開放点検 GEN開放点検 (長期保管後点検) 復水器・HRSR・Cooling Tower点検工事 (長期保管後点検) ST点検工事 (長期保管後点検)					
	Fr.5	1	GT開放点検+GTO-ター開放点検 吸気フィルター更新工事				NA	
Thaketa	Fr.5	1	計画済			ST復旧工事 STG点検工事 Cooling Tower換装工事 HRSR点検工事		
		2						
		3						
Hlwaga	Fr.6	1	計画済 (EPGEより外部企業に対してリハビリとO&Mを組み合わせた形態で発注・契約済み)					
		2						
		3						
Ahlone	Fr.6	1	GT #1 振動対策			HRSR Tube更新	ST開放点検	
		2						
		3						
Thilawa	H-25	1	2016年運開の為、リハビリ計画は不要なるも、2019年1月時点で既にOEM推奨点検インターバル超過(約3~4カ月程度)しており、早期のメンテナンスプランの確立が重要。			NA		
		2				NA		

出典:JICA 調査団

詳細スコープは今後 EPGE と精査する必要があるが、発電所毎に具体的なリハビリ計画を作り、EPGE と綿密に連携協議した上で、EPGE ニーズに合致した中長期のプランを立案することが求められる。以下は各発電所への提案内容を纏めたものである。

### イワマ (701D 2GT)

#### プラント概要

本プラントの1号機では2018年2月に圧縮機サージ事故が発生し、第2回目の調査時点(2018年12月)で、サードパーティである Ethos による復旧工事が実施されていた。ただし、事故で損傷した圧縮機側は清掃・手入れ作業のみを実施しての復旧を計画しているとのことだが、圧縮機側に損傷があるままの復旧となる為、早期のリハビリ(GT 開放点検+圧縮機部品交換)が必要である。尚、圧縮機サージ事故の根本原因は、吸気フィルターチョーク発生が主原因と考えている。

また、2号機は発電機側の軸受温度高が発生する為、負荷上げが出来ないという事象に直面しており、且つ、移設後(2014年)、燃焼器点検しか実施していないまま既に4年が経過しており、開放点検が必要と考えられる。

## 改善提案

上記の対応として下記提案する。

### (1) ガスタービン/発電機本格点検工事

GT#1：開放点検及び圧縮機側損傷対応を提案

GT#2：開放点検及び状況に応じて高温部品の交換を提案

GENの軸受温度高対策の為、開放点検及び原因調査・補修を提案

### (2) 吸気フィルタ改修工事

吸気フィルタの劣化が激しく、エレメントの交換のみならず、差圧の常時監視・アラーム追設等を提案する。

### (3) 補機改修工事

LO COOLERのトラブルによるLO温度高トリップ等が散見される為、LO COOLERの更新工事を提案する。

## イワマ (H25 1-on-1 CCGT)

### プラント概要

2004年に運開、数年動いたがトラブルのため長期停止。2013年3月にリハビリ実施し、コンバインドサイクルとして再度運転開始したが、2014年の4月にガスタービン翼損傷のため停止し現在に至る。

尚、HRSG、蒸気タービン、制御装置については何か損傷しているというものはなく、ガスタービンが起動していないため運転できない状態である。既に5年弱停止しているためメンテナンスが必要な状態である。尚、EPGE内部にて撤去計画があるとのことで詳細を確認する必要があると思われる。

### 改善提案

本プラントを起動させるためには、まずはガスタービンのリプレースが必要と考えられる。(タービン翼だけの補修(取り換え)は不可。理由はロータ内部に錆が発生しているため)

ガスタービンをリプレースするには

① 燃焼ノズルの再設計(現状2004年時の燃料性状をもとに設計されている。現在は燃料性状(発熱量)が大幅に低下している。)

② 排気ダクトにバイパススタック併設

することで、最低限ガスタービンだけで発電はできると考えられる。

さらに、上述の通り、HRSG、蒸気タービン、制御装置をメンテナンスすることでコンバインドサイクルとして再度運転ができると考えられる。

蒸気タービンの改善提案としては、



- (1) 冷却水質(\*)の改善（凝固剤をいれて沈殿させるなど）
  - (2) 復水器ボールクリーニング装置の導入
- をすることで、大幅な性能低下を防ぐことができる。
- (\*)カルシウムを含む金属分が多く、復水器チューブ内表面に膜や固形物が発生してしまう。これができると熱伝達率が下がり、復水器内の真空度低下、大幅な性能劣化につながる。但し、上述した通り、EPGEの運用計画と照合しながら、最適な提案が求められる。

## イワマ (Fr5 2-on-1 CHP)

### プラント概要

本プラントの1号機では2018年8月に失火トリップが発生し、開放点検したところ圧縮機の損傷が確認された。復旧すべくスペアロータを納めるも振動が大きく運転再開できていない状況(2018年12月10日時点)。

入れ替えられたスペアロータは履歴不明で、過去にインドのCorrtech社でサービスされた後、3年以上保管されていたもの。図5-16参照。



図 5-16 圧縮機の事故後に納められたスペアロータ

### 改善提案

本プラントでは(1)圧縮機事故、再発防止策、及び(2)軸振動の解決、という2点の改善が必要と考える。

- (1) 詳しい事故調査が必要なものの、圧縮機の損傷はIGV駆動用の電磁弁異常によりIGVが閉動作、圧縮機2段静翼において高サイクル疲労が発生し最終的に翼損傷に至ったと考えられる。電磁弁については恐らくメンテナンスされてないと考えられることから、定期メンテナンス（もしくは交換）を計画・実行することが大事である。再発防止としては、① 現状IGVが閉じて警報だけだが、トリップさせることでHCF (High Cycle Fatigue) を避ける。② デジタルソリューションを導入し、ガイダンスを流すことでオペレータに注意を促すことができる。

- (2) 軸振動に関してはマスアンバランスが考えられ、まずはCABS (Computer Aided Balancing System) を使用してのフィールドバランスを試みて、それで効果なければ解放して、ロータを吊り出し、LSB (Low Speed Balancing) の設備がある工場にてバランシングを行う必要がある。

### タケタ (Fr5 3-on-1 CCGT)

#### プラント概要

当プラントではすでにGT側の更新工事が決定しているが、現在ST側に問題があり、CCGTとしての運用に目は立っていない。ただし、CCGTとして復旧できても35MW増と小さい、現状既にデマンド対応のプラントであり、且つ、冷却塔のコンクリートの劣化が激しく冷却塔の更新工事が必要と考えられるため、積極的なリハビリ工事は推奨しない事とする。

### アーロン (Fr6 3-on-1 CCGT)

#### プラント概要

当プラントではFr6 3on1 CCGTだが、HRSGのチューブリークが原因で現在Simple Cycleで3台運転している。1、3号機で軸振動がアラーム値を超えており、それぞれ2018年、2016年のHGPIで部品交換を行ったが、なおも振動が高い状況（3号機では新ロータを納めている）。過去の定検レポートから両号機ともベアリング面に重接触が確認されていて（図 5-17）、これが軸振動に繋がっていると考えられる。ベアリング面の重接触の原因として

- (1) 潤滑油不足
- (2) 潤滑油の質が悪い
- (3) ロータミスアラインメント

が推測されるが、原因究明の為に別途詳細調査が必要である。

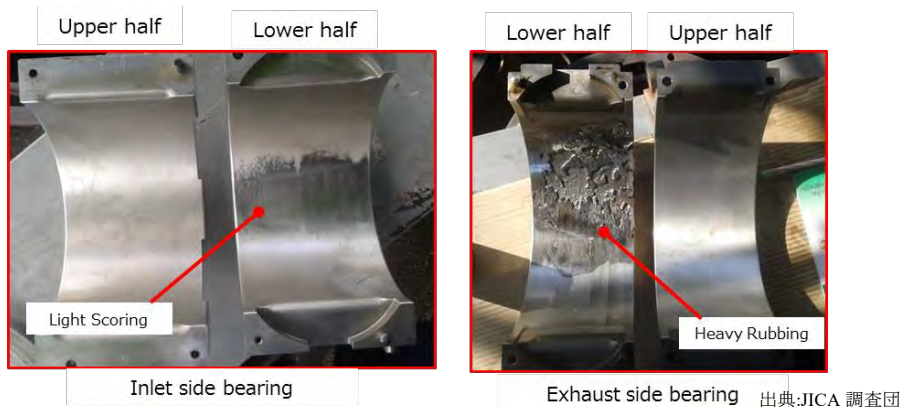


図 5-17 1号機 2018年11月解放点検時のベアリング損傷状況

表 5-23 1号機 点検前後の振動値変化

Sensors	Inlet side [mm/s]		Exhaust side [mm/s]	
	1A	1B	3A	3B
Pre-outage (Sept 2018)	12.75	12.34	0.01	0.33
Post-outage (Dec 2018)	14.25	13.63	4.24	5.28

出典:JICA 調査団

また、部品を取り換えたにも関わらず振動値が上昇している。

### 改善提案

上記ベアリング面の重接触の改善提案として以下が考えられる。

(1) 潤滑油不足

系統の組立ミスや、潤滑油ポンプの故障などから潤滑油不足が引き起こされた場合はTA派遣による系統の確認及び正しい組立方法の指導を行う事ができる。

(2) 潤滑油の質が悪い

潤滑油の質が悪く微細な粒子やゴミが混入している場合はこれらを除去する方法として静電浄油機等が考えられる。

(3) ミスアラインメント

ロータのミスアラインメントによりベアリング面とロータジャーナルの接触が起きている場合は、TAの派遣によるアラインメントチェックが必要と考える。

## ティラワ (H-25 2GT)

### プラント概要

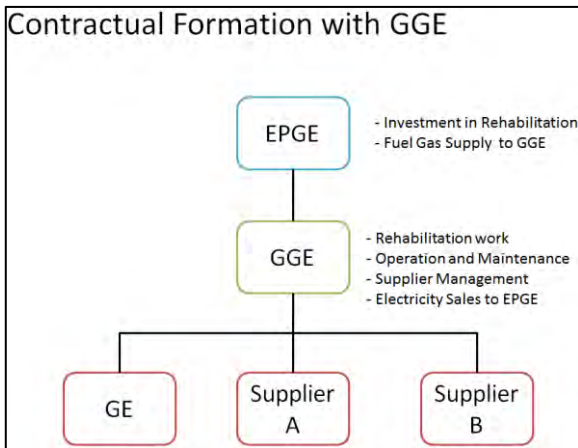
当プラントは2016年運開の最新機種であり、リハビリ工事等は不要と考えている。

### 5.6.2 Mid.&Long Term Recommendation

上記までで、現状損傷が発覚している機器・設備に対する具体的な改善提案を記載した。他方、これまで論じてきたように、ミャンマーの火力発電所の適切な運用を長期的に確保するためには、単に損傷個所の修復を行うだけでなく、ソフト面を含めた複合的な対策による体制構築・能力向上が必要である。そのため、既設発電所のリハビリを行うに際して、併せて中長期視点を見越したO&M能力開発を行うため、ミ国政府も関与し官民連携によりSPCを設立し、O&M共同事業を実行する“場”をつくるといったことも考えられるかと推察する。

この提案は、ミ国ローカル企業 (Golden Green Energy (GGE 社/GE がサブコン)) が、ローガ発電所 (Fr6:3on1) 向けにROMM (Rehabilitation Operation Maintenance Management) という10年間のリハビリ込み長期O&M契約を締結した実績から着想したものである。この契約は、既存設備を使って事業権を獲得し、EPGEからの支払はCent/kWh (注: 実際の通貨はKyatとなる可能性あり)

で受け取り、基本的に燃料調達以外の全てのO&M業務を担うという点にある。この契約自体は、実際に契約が施行された暁にはローガ発電所のEPGE職員は2-3名を残してGGEの職員に置き換わられてしまうように聴取しており、単にリハビリ及びO&Mを委託するだけでEPGEの長期的な体制・能力強化に資するものではない。しかし、同様の契約形態を用いつつも、ミ国政府も関与し官民連携によるSPCを設立し、O&M人員の多くをEPGE職員が担いつつ、パートナー企業の指導を受ける形とすれば、施設のリハビリと適切なO&Mを確保するとともに、EPGE職員を育成し、長期的な体制・能力強化に資することが可能と考えられる。こうした構想の具体的な事業実施可能性は、対象となる発電所の状況等を踏まえて別途詳細に検討することが必要である。



出典:発電所長への聞き取りに基づき JICA 調査団作成

図 5-18 プロジェクトスキーム



出典:Web サイト

図 5-19 契約調印式

(中央:緬エネ大臣,右端 EPGE 総裁)

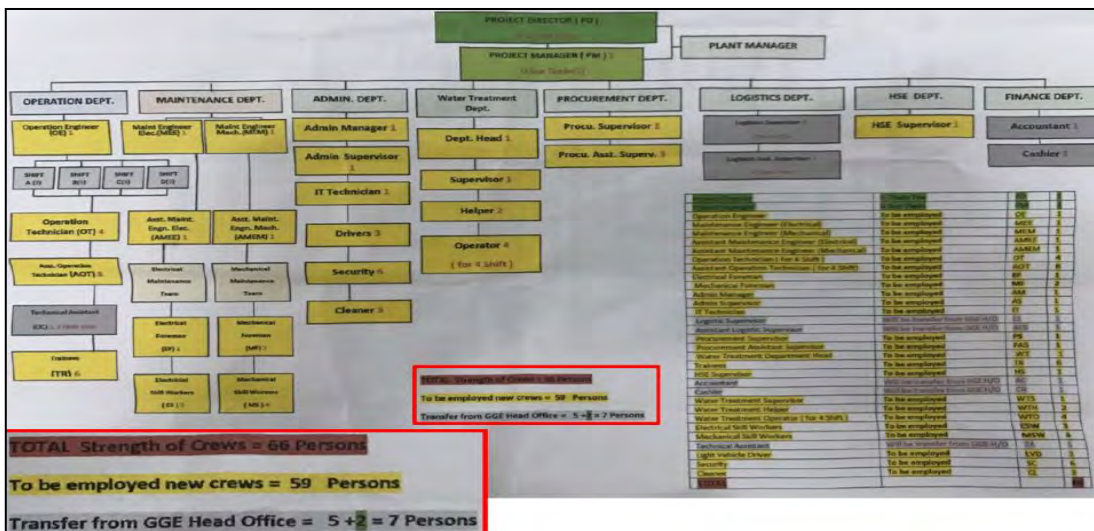


図 5-20 プロジェクト遂行体制

(ローガ発電所のEPGE職員は2-3名を残し全てGGE社スタッフ(黄色部)へ置換予定)

### 5.6.3 Switchyardの飛沫対策

#### 対策の方向性

イエイワ開閉所の問題点は、碍子へ藻が多量に付着することによる事故の発生である。日本における碍子への付着物は、塩分や塵埃が主なものである。関西電力では、塩分の付着量が多い臨海地域の屋外変電所においては、安全に安定供給が行えるよう優先的に対策を行っている。イエイワ発電所はベース電源であり安定供給を担う発電所でありながら、その開閉所は付着物が多く事故発生リスクのある環境であるため、優先的に対策が必要であると考えられる。

#### (1) 開閉機器等

遮断器、断路器、鉄構、電線類を「開閉機器等」として総称する。開閉機器等の対策は、人力での高所碍子清掃の実施、GIS化と碍子洗浄装置の設置が挙げられる。

イエイワ開閉所で、最も事故の発生リスクが高いのは、鉄構に取付けられている高所の碍子である。しかし、人力で高所の碍子清掃を実施しても立地面と停電面に課題がある。

まず、現在の開閉所の立地は急速に汚損が進む恐れがある。洪水吐からの放流は、ダムへの流入が多い雨季に行われている。雨季は、碍子への付着と同時に、多少は雨で洗い流されるため、今のところは事故に至っていないと考えられる。藻は、日光と栄養分があれば急速に繁殖するという。洪水吐からの放流ののち、雨が少なく、日光があたる条件が整うと、急速な汚損により事故に至る可能性がある。

次に、高所の碍子を清掃する場合は、停電範囲を広げる必要がある。遮断器や断路器の碍子清掃はエリアを分けて開閉所が全停しないよう順番に実施している。開閉所構内は電線が立体的に交差しているため、高所の碍子を清掃する場合、清掃対象の碍子と周辺一帯の広い範囲を停電させなければならない。また、作業量の増加により停電期間も長くなる。ベース電源としての役割を考えると、毎年の停電は短くすべきである。

以上のことから、イエイワ開閉所の開閉機器等に対するリスク回避の抜本的な解決には、人力での碍子清掃の他、GIS化や碍子洗浄装置の設置が有効であると考えられる。

#### (2) 変圧器

変圧器の対策は、人力での清掃に加えて、汚損防止設備の設置（建屋もしくは壁）と碍子洗浄装置の設置が挙げられる。

2011年には変圧器の汚損防止として、上流側にスチールウォールが設置された。スチールウォールの設置以降、変圧器は同じ並びの開閉所上流の設備に比べて汚損は少なくなっているものの、汚損はゼロにはなっていない。これは、放流の勢いや風に乗って飛沫が変圧器まで到達するためであると考えられる。変圧器は、ラジエターに藻がつまると冷却効果が低下し過熱の恐れがあること、変圧器へ水分が付着すると発錆し、本体は漏油、ラジエターは漏油のおそれがあることから、一部を覆う壁では汚損の対策としては不十分であると考えられる。よって、汚損防止設備としては全体を覆うことができる建屋の設置が有効である。

## 改善提案

### (1) 提案内容

#### a. 開閉機器等への提案内容

##### (a) GIS化

GIS (Gas Insulated Switchgear) とは、キュービクルに収容されたガス絶縁開閉装置である。内部に遮断器、接地開閉器、断路器、避雷器、検電装置などを集約している。

図 5-21 に GIS の写真を示す。



図 5-21 GIS(Gas Insulated Switchgear)

#### i. 特徴

- 設置面積が 1/10～1/5 程度まで小さくできる。
- メンテナンスが容易
  - ・充電部が密閉されており汚損の影響を受けない。
  - ・コンパクトなため保守点検が省力化できる。

#### ii. 採用実績

- 日本では塩塵害対策や省力化を目的に採用されている。
- ミ国内の他発電所でも採用されている。

##### (b) 碍子洗浄装置の設置

碍子洗浄装置とは、停電せずに高圧水の噴射によって碍子への付着物を落とす装置である。既設設備にタンク、ポンプ、配管を追加する。図 5-22 に碍子洗浄装置の写真と設備構成を示す。

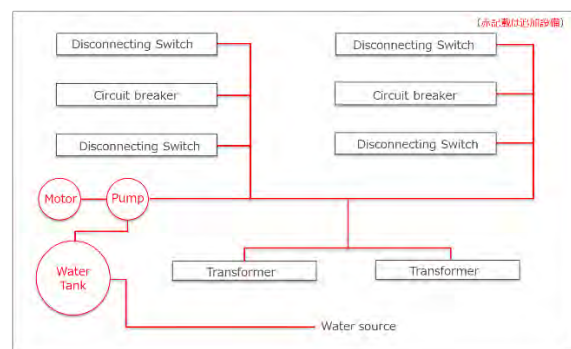


図 5-22 碍子洗浄装置

出典:JICA 調査団

i. 特徴

- 自動で定期的に洗浄ができる。
  - ・マンパワーが省力化できる。
  - ・危険な高所作業を行わなくてよい。
  - ・停電せずに碍子洗浄ができる。
- 碍子洗浄用に真水が必要である。

ii. 採用実績

- 日本では塩害対策として臨海地域に採用されている。
- 高所の碍子と制御盤には設置実績がない。

b. 変圧器

(a) 汚損防止設備（建物）の設置

建屋は変圧器全体を覆うように設置する。設置にあたっては、変圧器の露出充電部から必要な離隔をとること、点検スペースを確保すること、取替を想定した搬入口を考慮することとし、シンプルな構造がよい。

i. 特徴

- 変圧器が密閉されるため汚損の影響を受けない。

ii. 採用実績

- 日本では同様の汚損事象がないため採用実績はない。

iii. 設置コスト

- 建物の価格を表 5-24 に示す。

表 5-24 建物価格

設 備		価格(MUSD)	内訳
台 数	仕 様		
建物×1 (幅:20m, 奥行:14m, 高さ:14m)※1	鉄骨造 1F 建	0.4	本体価格:0.3 据付費用:0.1

条件：変圧器寸法 幅：8,500mm、奥行：4,500mm、高さ：6,730mm

離隔距離：6,840mm（日本の「電気設備の技術基準 第22条」により算出(230kV)）

※1 建物サイズは最小離隔距離の値を記載。

(備考) 充電部の露出がなければ建物サイズは縮小できる。

出典:JICA 調査団

(b) 碍子洗浄装置設置工事

- i. 特徴と、ii. 採用実績は、「a. 開閉機器等への提案内容-(b) 碍子洗浄装置の設置」を参照。

iii. 設置コスト

● 碍子洗浄装置（変圧器単体取付）の価格を表 5-25 に示す。

表 5-25 碍子洗浄装置(変圧器単体取付)価格比率

設 備		価格(MUSD)	内訳
台 数	仕 様		
碍子洗浄装置×1(提案内容) (ポンプ、タンク、配管含む)	154k 変圧器単体に 取付	0.4	本体価格：0.3 据付費用：0.1

出典:JICA 調査団

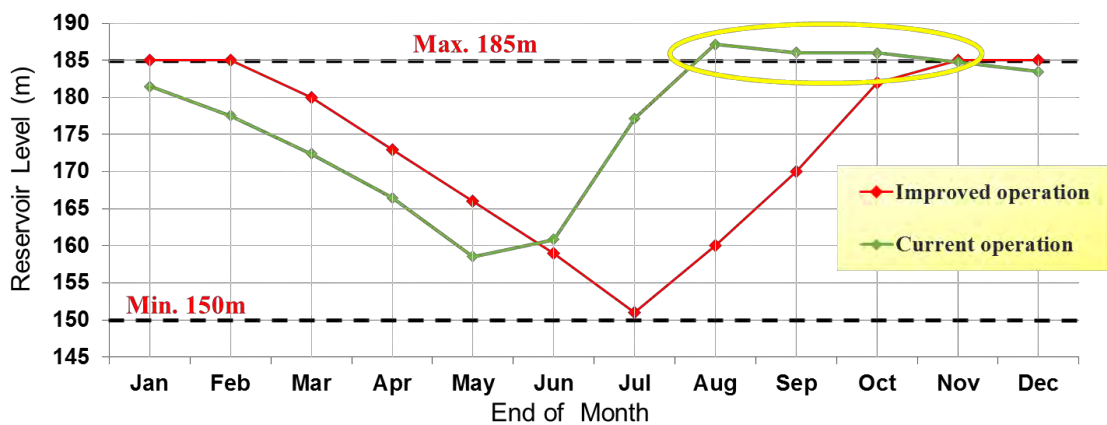
(2) 提案内容まとめ

本調査の結果これらの改善策が考えられるが、最適な解決策の選定にあたっては、コストメリット含め、詳細の検討が必要である。

5.7 水力発電所ダム運用

5.7.1 運用改善シミュレーション

図 5-23 に現在の運用水位と改善した運用による水位を示す。緑線は 2011 年から 2018 年の各月のダム水位実績を平均したものである。赤線は将来的な需要増を想定し、イエイワ発電所が水位、出力制限が無い状態で運用できた場合の水位を示したものである。現在の運用では、送電線の容量不足により発電使用水量を約 600m<sup>3</sup>/s に制限している。また、流入量予測が出来ず最低運用水位（MOL）まで水位を下げられない。今回はその制限が改善されている条件で検討した。なお、プロット点は月の最終日である。



出典:JICA 調査団

図 5-23 ダム運用改善

現在の運用では、11月に満水になった貯水池の水を利用して、12月～5月の6ヶ月間では、流入量



より発電放流量のほうが多く、貯水池の水位が低下する。流入量が増加する6月～8月の3ヶ月間でFTLのEL. 185mまで貯水を完了する。また、貯水池の水位は、平均すると、最低運用水位（MOL）のEL. 150 mまで低下せず、EL. 158mまでしか下がらない。これは貯水池に貯めた水を十分に使い切っていない状況であることを意味する。年間を通して運用する貯水池式発電所では、乾季の需要に対応するために雨季に備えた水を貯水容量いっぱいまで利用し、雨季においても、発電せずに洪水吐から放流する無効放流を減らす運用が望ましい。

改善した運用は、3月から7月までの間に、貯水池の水を使い水位を下げきる運用をし、7月末には、MOL. 150mに1mの余裕を見た151mまで下げるように設定している。雨季の間に出水があっても洪水吐からの無効放流を極力減らすために、8月以降の水位上昇を現状のダム運用と比較して抑制し、その分発電電力量を増加させ、11月末頃に満水となるよう制御する。その後乾季に入った11月末から3ヶ月間は、流入量が発電所の最大使用水量を超える可能性は低く、水位をEL185mに保っていても洪水吐からの無効放流をしなければならない状況になる可能性は低い。従って、流入量と発電放流量をバランスさせて、EL185mに保ち、高水位運転を行う。その後3月から7月末までの5ヶ月間に貯水池の水を利用して流入量以上の水を発電放流に用いて、徐々に水位を下げることにしている。乾季の間、少なくとも流入量が増加する7月末まで発電により需給に対応しながら水位を低下させ、利用水深の下限近くまで水位を低下させることと、発電放流を従前より増加させ雨季に急激に水位を上昇させることなく、出水時にも流入する水を貯水池に貯められるよう水位上昇を抑制することが、雨季の無効放流低減に繋がり、結果として発生電力量の増大に繋がる。

貯水池運用を改善するために設定した貯水池運用ルールについて簡単に説明する。まず、各月で目標水位を設定する。設定した目標水位に到達する運転となるよう、流入量と無効放流の量をから月単位で使用する発電水量を算出することができる。電力量の算定においてはその時点のダム水位、放流量に基づく放水水位を算定し、かつ水路内でのロスを考慮した有効落差を用いた。

以上のルールに基づき運用改善のシミュレーションを行った結果、11月から6月はピーク時間の6時から22時まで運転、雨季の7月から10月はオフピークも含めた運転により目標のルールカーブ通りの運用が実現された。

### 5.7.2 運用改善による効果

図 5-24 に改善した運用のデュレーションカーブを示す。緑線が現在の運用、赤線が改善した運用を示し、青線が流入量を示す。

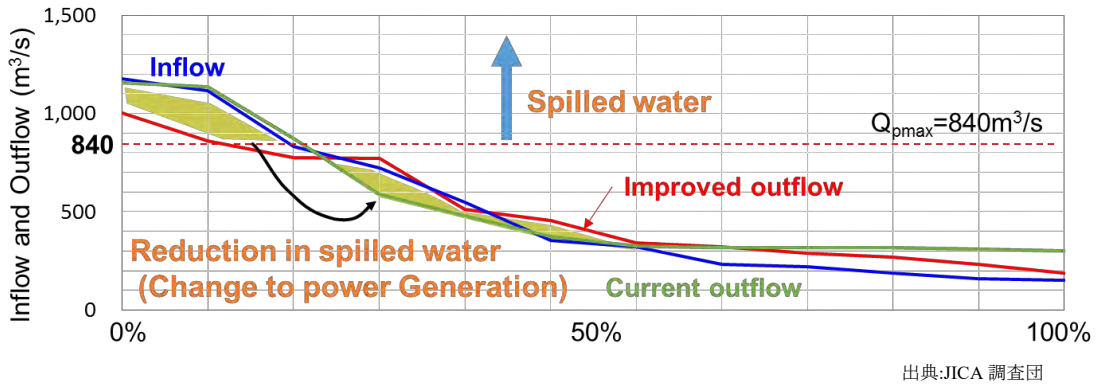


図 5-24 改善後のデュレーションカーブ

現在の運用では  $Q_{max}$  840 $m^3/s$  以上の範囲においてほぼ流入量=放流量となっているのに対して、改善した運用では  $Q_{max}$  840 $m^3/s$  以上の範囲の放流量が減り、代わりに乾季の放流量を増やすことで水を効率的に使用出来ている。現在の運用では流入量の使用率が70%であるのに対して、雨季のスピルウォータを発電に使用することで流入量の使用率が約6%増え76%となる。

次に、運用改善による洪水吐からの無効放流量の減少について説明する。図 5-25 は運用改善による洪水吐からの無効放流量の削減量を示したものである。横軸は現在の運用の洪水吐からの無効放流量の流量を示したものであり、縦軸は改善した運用の洪水吐からの無効放流量の流量を示したものである。仮に縦軸も現在の運用とした場合、 $y=x$  のライン上にプロットされる。

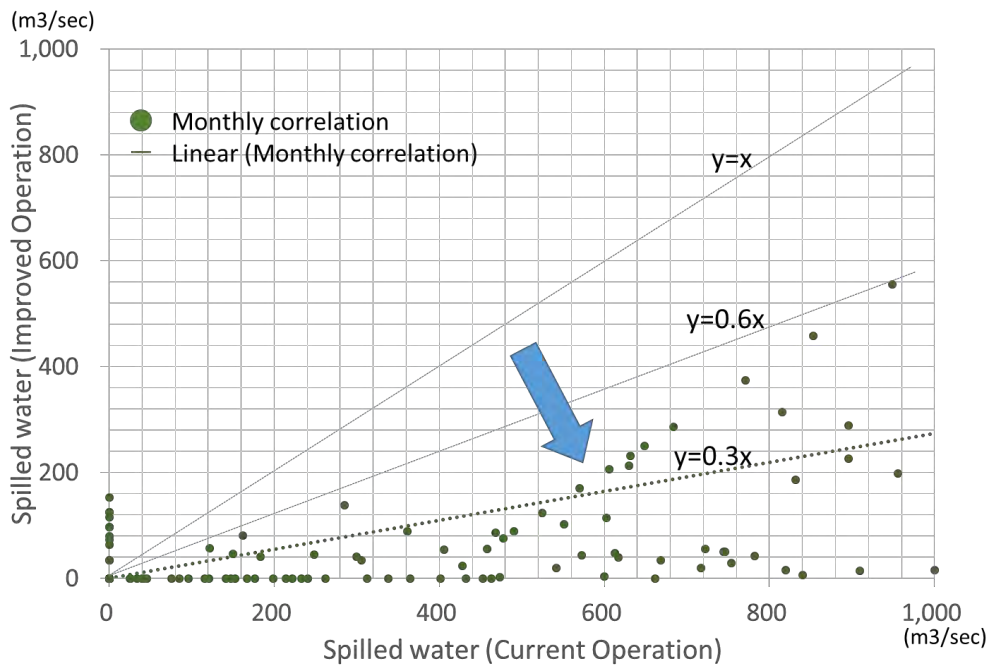


図 5-25 スピルウォータの改善

0m<sup>3</sup>/s から 400m<sup>3</sup>/s の範囲の比較的少ない量の放流に関しては、貯水池運用の改善により放流そのものをなくすことができ、洪水吐からの無効放流量の量だけでなく洪水吐からの無効放流の回数自体を減らすことが出来る。運用を改善することにより流量は少なくとも40%以上、平均で70%のスピルウオータを削減することが可能であり、開閉所への飛沫の影響を緩和することが可能である。ただし、突発的な洪水が発生した場合は洪水吐からの無効放流量が発生するため、開閉所への飛沫が完全にゼロになるわけではなく、開閉所本体の飛沫対策も検討する必要があると考える。

次に、運用改善による発電電力量の増加について説明する。図 5-26 は現在の運用と改善した運用の発電電力量を示したものである。青が現状の運用の2016年までの月別平均発電電力量を示し、赤が改善した運用の平均発電電力量を示す。

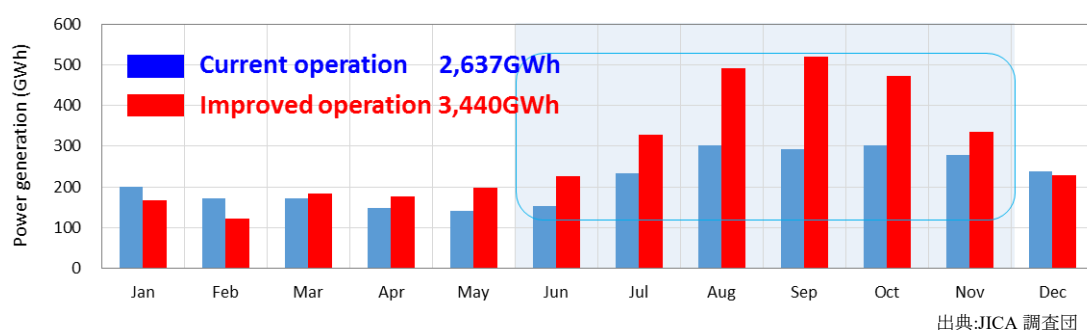


図 5-26 発電電力量の改善 (GWh)

イエイワ発電所は使用水量が大きいものの、雨季には流入量が頻繁にその最大使用水量より大きくなる。従って高水位を保って運転すると落差の点で多少は有利であるが、出水時には多くの水を洪水吐から無効放流を行うことになる。多少低水位でも無効放流を抑制して、流入する水をより多く利用して大流量で継続的に運転するほうが発電電力量を大きく増やすことが出来る。現在の平均発電電力量が2,637GWhであるのに対して、運用を改善すると3,440GWhとなり約30%増となる。12月から2月までは貯水池を使わず流入量のみで高水位運転をするため、現在の運転よりも発電電力量が若干減るが、その他の9ヶ月間は現在よりも大きく発電電力量を増やすことが可能となり、運転の改善による効果大きい。

### 5.7.3 運用改善に必要なデータの取得方法の立案およびシステム化

5.7.1 で示した運用改善を行うためには、過去の水文データを用いて計画的に貯水池を運用することが必要である。流入量を予測し流入量の増減に対応できれば、より効率的に貯水池運用を行うことが出来る。

現状のイエイワ発電所の貯水池運用では、流入量の予測を行うことができないため、十分に水位を下げる事が出来ず、設備を有効に活用できていない。今回提案する改善運用では、7月には最低運用水位(MOL:150m)に1m余裕を見た151mまで水位を下げる必要があり、この運用を実現させるためには将来のダムへの流入量を精度よく予測することが必須条件となる。

一般的に流入量はダム地点の水位および雨量から予測する。流域内に十分な数の降雨量データと流

入量データをリアルタイムに取得することにより、流入量の予測の精度を向上させることができる。

現在イエイワ発電所は取水口地点に水位計が設置されており常時水位を把握することが可能であるが、目視確認での運用であるため流入量を自動で算出することが出来ない。また、雨量計はダム地点に設置されている1点のみであり、流入量予測に使うにはデータ不足である。イエイワ発電所の流域内には5点の雨量観測所があるが、リアルタイムでデータを取得できる状態ではない。日本では流入量予測を行う場合、流域面積 600km<sup>2</sup>のダムで最低3点以上の雨量観測所の情報をリアルに取得し予測を行っている。流域面積 4,000km<sup>2</sup>を超えるダムでは10個以上の雨量観測所の情報を把握している。

イエイワ発電所の流域面積は28,206km<sup>2</sup>と大きく、雨量から流入量を正確に予測するためには20個以上の雨量観測所を設置する必要があるため、個々のメンテナンスを考えると雨量観測所を設置し管理することは現実的ではない。流域面積が大きいイエイワダムでは、雨量計のみを用いて予測するよりも、広域な雨量情報を衛星データから取得するほうがコストパフォーマンスに優れると考える。次項にて衛星データを用いた流入量予測方法の概要を示す。

#### 5.7.4 衛星データを用いた流入量予測方法

近年、人工衛星に搭載したセンサーにより地上降水量を観測する技術の進展が著しく、複数の人工衛星による地上降水量観測データを合成して作成した地球全体の面的な降水量分布（GSMaP：Global Satellite Mapping of Precipitation）がJAXA（Japan Aerospace Exploration Agency）によりリアルタイムでインターネット上に無償で公開されている（<https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/>）。図 5-27 にGSMaPのWEB画面を示す。GSMaPの空間分解能は緯度経度方向それぞれ0.1度（約10km）、時間分解能は30分であり、イエイワダムの流入量を予測するための実績流域平均雨量を把握するために必要となる解像度を十分に満たす。

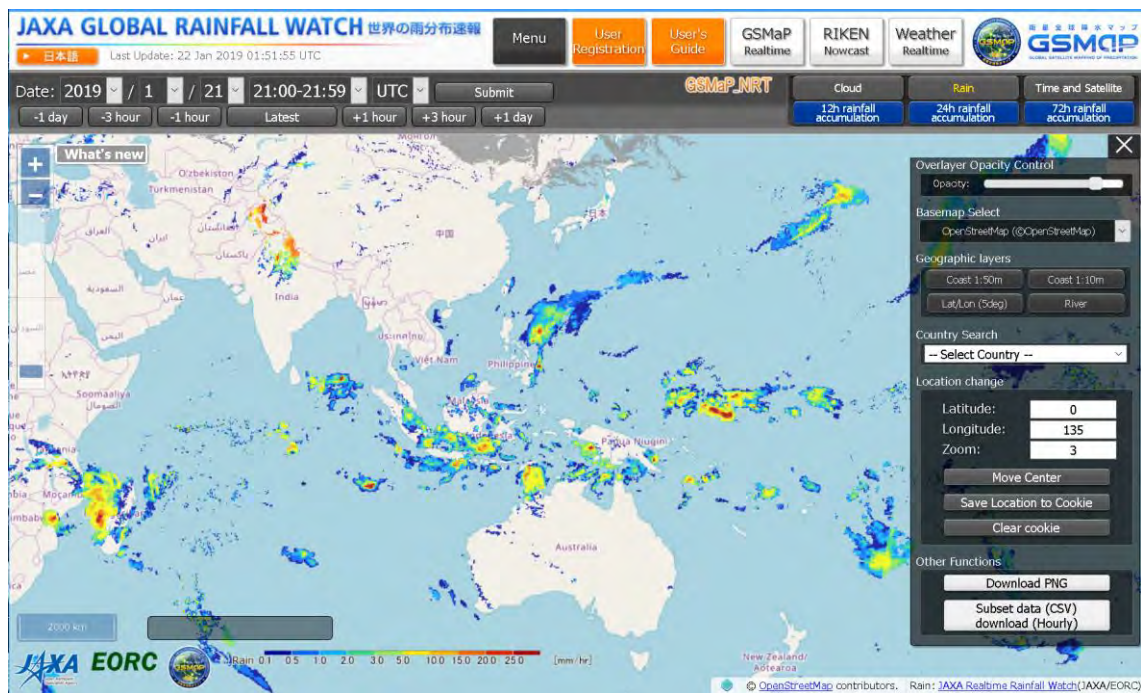


図 5-27 GSMaP ウェブサイト画面

(出典 : <https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/>)

数日先までのイェイワダムの流入量を高精度に予測するためには、ダム流域の実績流域平均雨量の把握に併せて数日先までのダム流域の予測流域平均雨量の把握が必要である。数日先までのダム流域の流域平均雨量を予測するためには、気象モデルによる降雨予測が有効である。近年、気象予測技術も急速な発展を遂げており、計算機技術の発展と相まって、局地気象モデルを活用して独自の降雨予測計算をリアルタイムで行うことが可能である。気象モデルとして世界的に最も実績があるのが、米国大気研究センター（NCAR : National Center for Atmospheric Research）を中心として開発された気象モデル WRF（Weather Research and Forecasting）である。WRF はオープンソースでありフリーで利用が可能である。WRF に代表される気象モデルでは、大気を 3 次元の格子に分割し、格子毎に気圧、気温、湿度、風向・風速等の物理量を定義し、物理量を支配する物理法則（運動方程式、質量保存則等）を数値的に積分することにより各格子における将来の物理量を予測する。図 5-28 に気象モデルによる計算の概念図を示す。

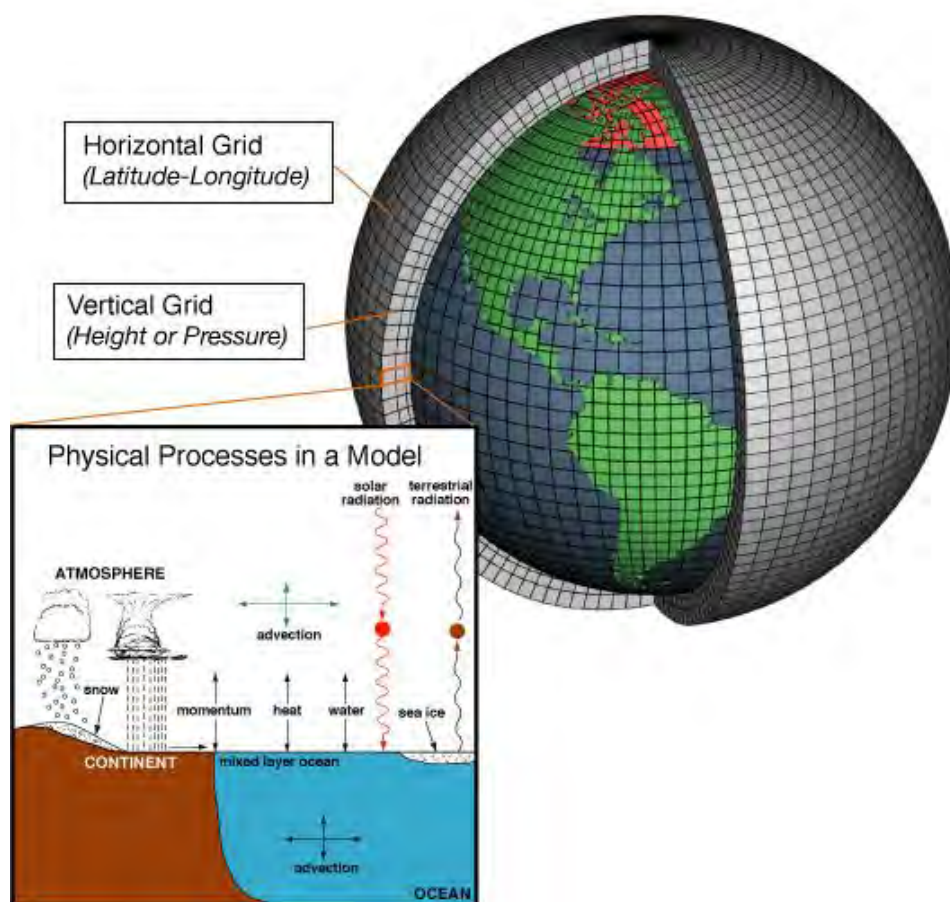
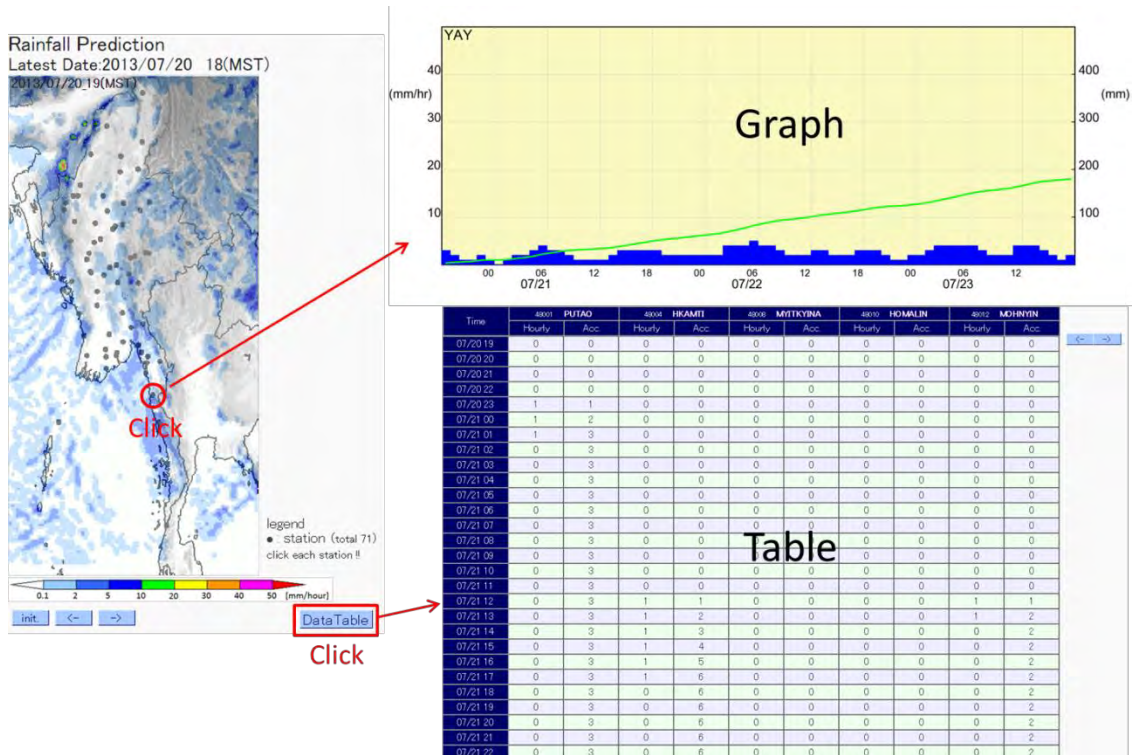


図 5-28 気象モデルによる計算の概念図

(出典 : [https://en.wikipedia.org/wiki/General\\_circulation\\_model#/media/File:AtmosphericModelSchematic.png](https://en.wikipedia.org/wiki/General_circulation_model#/media/File:AtmosphericModelSchematic.png) )

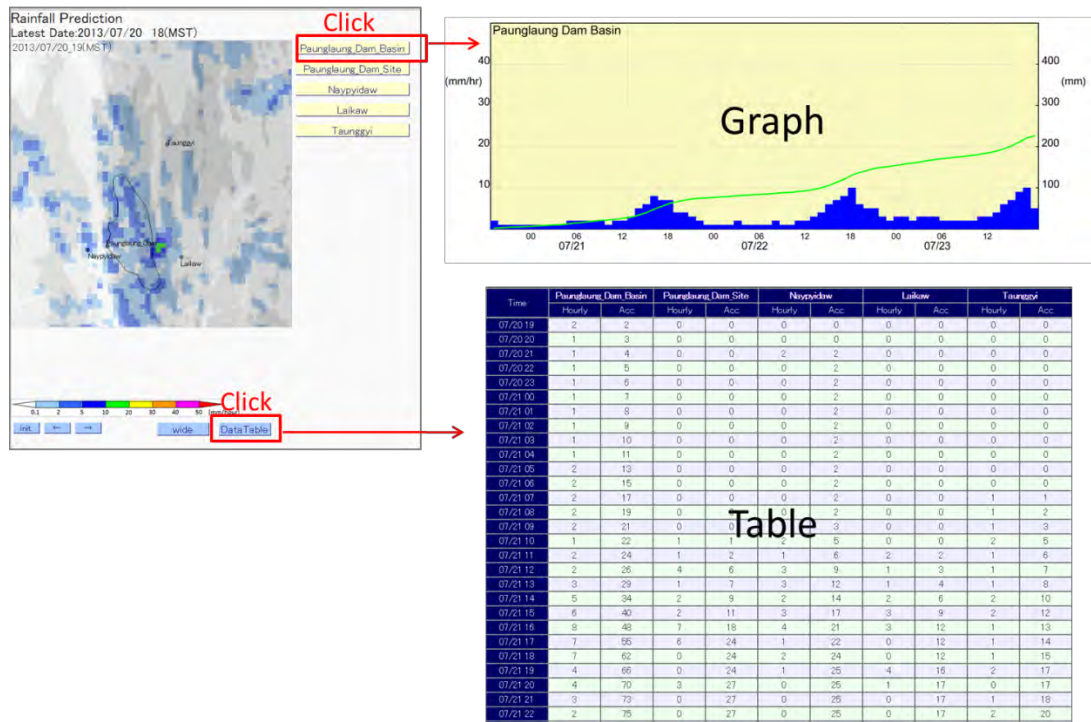
関西電力のグループ会社である（株）気象工学研究所は、WRF を活用したミ国を対象とした降雨予測情報サービスを無償で運用している。同サービスには、ミ国全域を対象としたサービス (<http://meci.kir.jp/wld-hydro/myanmar-wide/>) と、Paunglaung ダム流域を対象としたサービス (<http://meci.kir.jp/wld-hydro/myanmar/>) があり、いずれもインターネット上に情報が公開されている。図 5-29、図 5-30 に（株）気象工学研究所が運用するミ国を対象とした降雨予測情報サービスの画面を示す。

上記の無償サイトでは、ミ国の地域特性を考慮した降雨予測モデルのカスタマイズが行われていないため、十分な精度を有していない可能性もあるが、イエイワダム流域を対象として降雨予測モデルをカスタマイズすることで精度向上が期待される。そこで、イエイワダム流域を対象として WRF を活用したダム周辺降雨予測システムを構築することを提案する。イエイワダム流域は、現行のミ国全域を対象とした降雨予測情報サービスの領域に包含されるため、同システムの過去の予測データと現地雨量データの比較により現行の無償サービスの精度（＝最低限の精度）把握が可能となり、イエイワダム流域を対象としたカスタマイズにより、更なる精度向上の実現を目指すこととなる。



出典:JICA 調査団

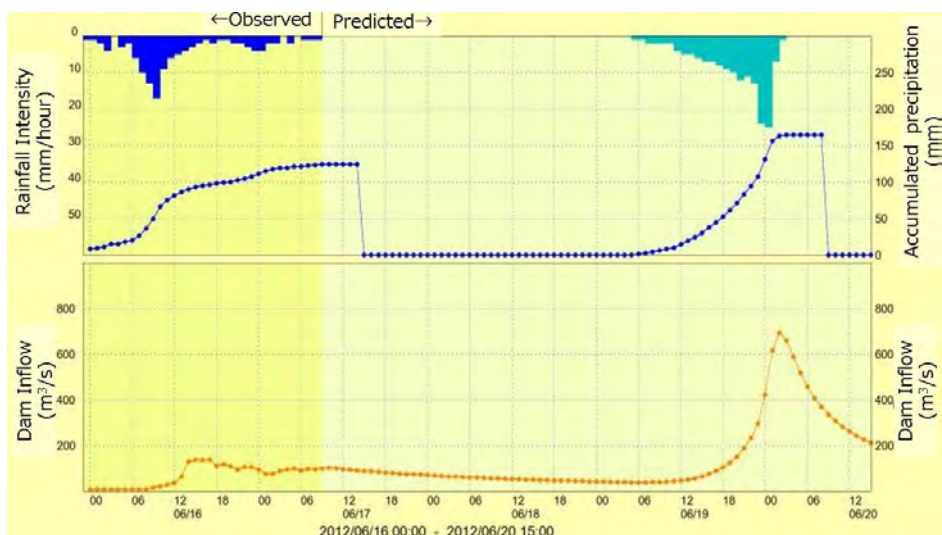
図 5-29 ミャンマーの降雨量予測システム画面



出典:JICA 調査団

図 5-30 ダム域の降雨量予測システム画面

関西電力が管理する日本国内のダムでは、ダム流域の雨量とダム流入量の関係を分析し、流域雨量を入力としてダム流入量を出力する流出解析モデルを構築し、ダム流域の降雨実績と数日先までの降雨予測に基づき、ダムの流入量を予測し、ダムの安全かつ効率的な運用に活用している。図 5-31 にダムの雨量・流入量予測システムの画面例を示す。

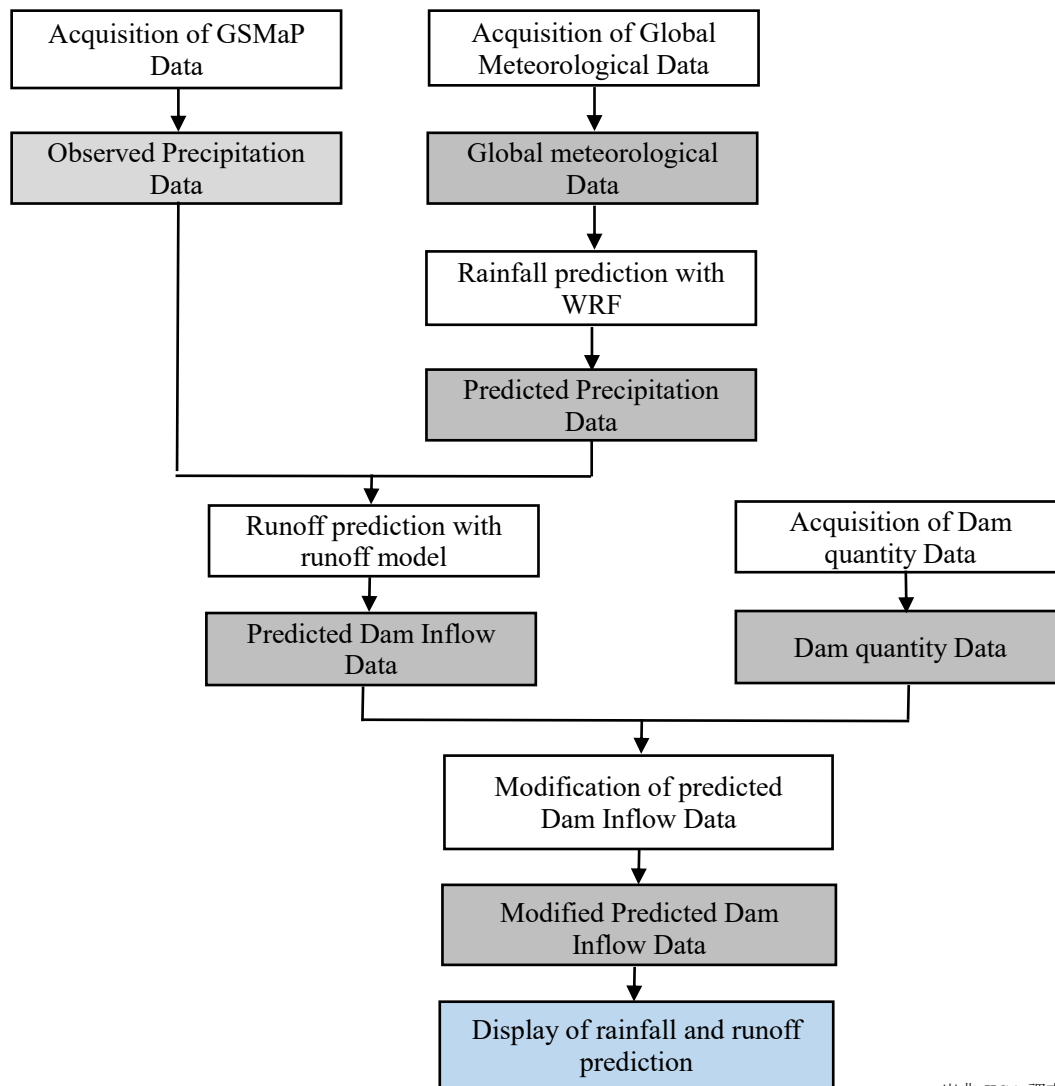


出典:JICA 調査団

図 5-31 日本におけるダムの雨量・流入量予測システム画面

イエイワダム流域においても流出解析モデルを構築することにより、衛星雨量により把握する実績流域雨量と WRF により予測される予測流域雨量を入力として、図 5-31 に示したようなダム流入量をリアルタイムに予測するシステムの実現が可能となる。図 5-32 にリアルタイムのデータ処理システムのフローを示す





出典:JICA 調査団

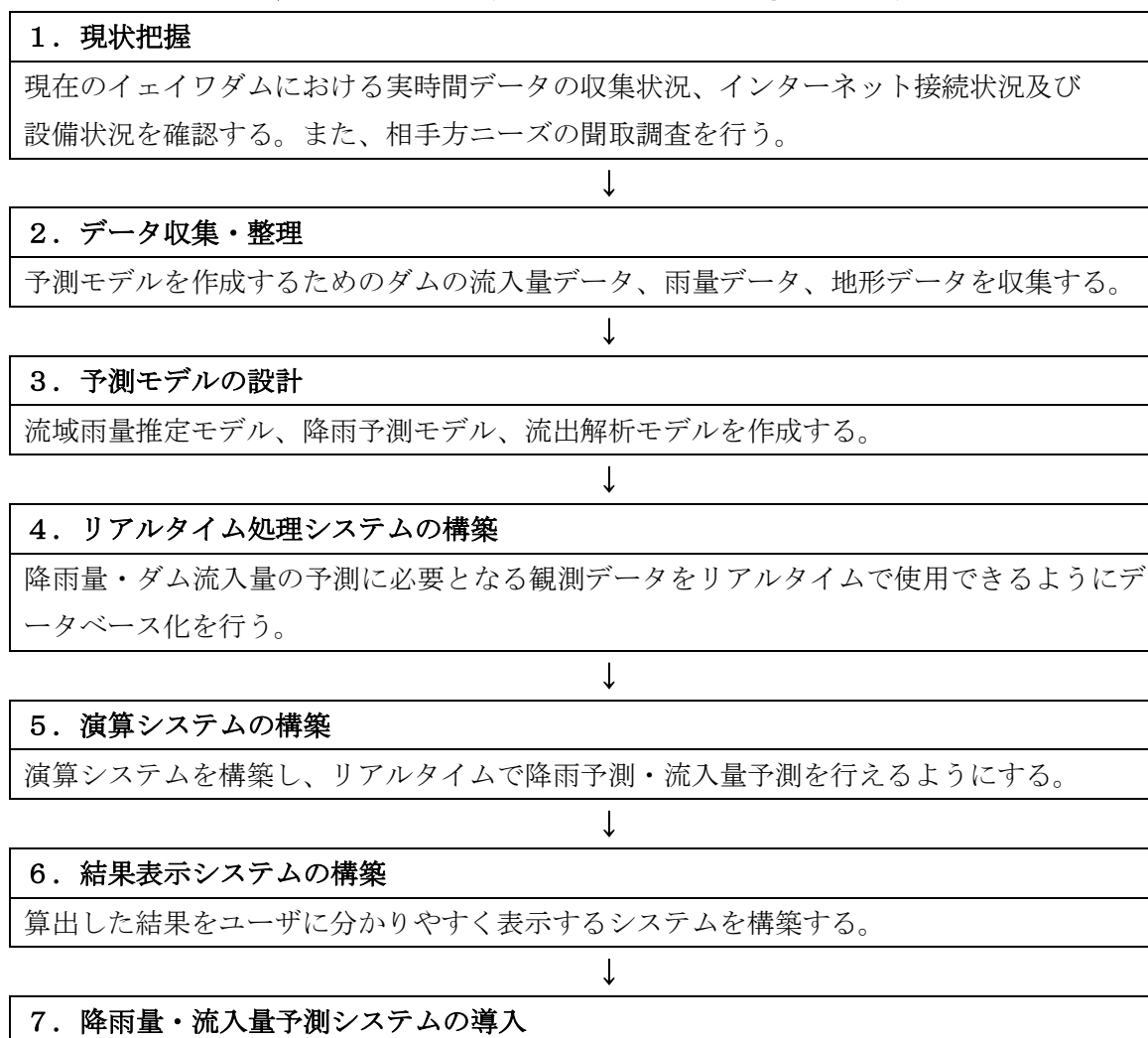
図 5-32 リアルタイムデータ処理システムフロー

### 5.7.5 降雨量、流入量予測システムの導入

次にシステム構築までのフローと概算金額について示す。

下記フローは過去の本邦での実績を基に計画したシステムの導入フロー及び概算費用である。イェイワダム設備状況や相手方のニーズによって異なることがあることに留意する必要がある。

表 5-26 降雨量・流入量予測システムの導入までの流れ



出典:JICA 調査団

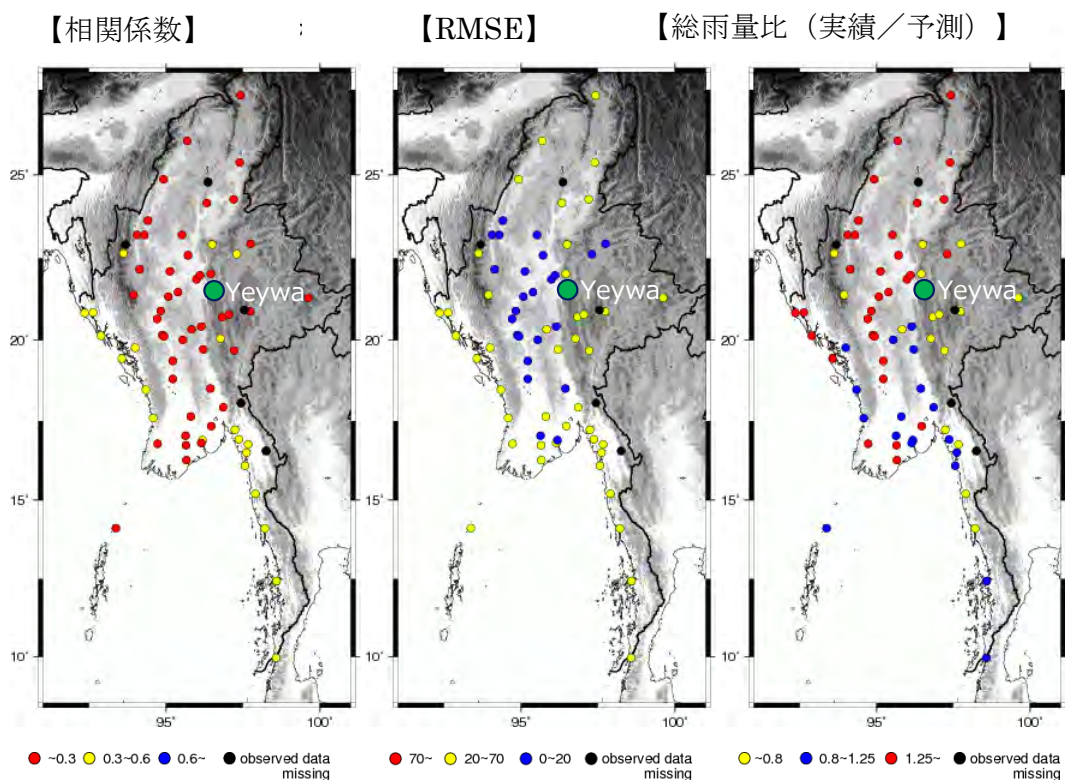
表 5-27 降雨量・流入量予測システム導入の概算費用

項目	概算費用	備考
現状把握	2,000,000 円	現地調査等
データ収集・整理	4,000,000 円	解析用地形データの作成等
予測モデルの設計	4,000,000 円	各モデルの設計検討
リアルタイム処理システムの構築	10,000,000 円	データベースの作成
演算システムの構築	20,000,000 円	演算装置の作成
結果表示システムの構築	5,000,000 円	結果表示プログラムの作成
システムの導入	5,000,000 円	イエイワダムとの接続
合計	50,000,000 円	

出典:JICA 調査団

### 5.7.6 衛星雨量を使用した予測精度の検証

次に、過去に実施したミ国を対象とした気象モデル (WRF) による降雨予測情報の精度を確認するために、地上雨量計による雨量の実測値と3日前に予測した日積算雨量の値を比較した。イエイワダム地点周辺の精度を確認すると、相関係数は0.3以下と低く、RMSE\*は20以上あるため、精度は十分ではない。降雨予測モデルに地域特性が考慮されていなかったからと考えられるため、今後、イエイワダム流域を対象として降雨予測モデルをカスタマイズすることで、精度向上を行うことが必要である。



出典:JICA 調査団

図 5-33 ミ国を対象とした降雨予測精度検証例(2014.6.1~2014.10.31)

また、本邦では、衛星雨量情報と地上雨量計を組み合わせることにより高精度な面的雨量情報を作成する技術開発が行われている。

雨量計は正確な雨量を観測するが、雨量計による観測は面的には隙間がある。一方、衛星雨量等は、面的に隙間のない雨量が推定できるが、雨量計の観測に比べると精度が低い。そこで、両者の長所を生かし、衛星雨量データを雨量計等の地上観測値で補正することで、面的に隙間のない正確な雨量分布を得ることができる。

関西電力グループ会社の気象工学研究所においても、他国での検証ではあるが、過去に衛星雨量データのみを使用した場合と、地上観測データによって補正した衛星雨量データの比較を行っており、1/5,000km<sup>2</sup>以上密に地上雨量が観測できる場合においては、衛星雨量データのみの場合よりも補正した衛星雨量データの精度が高いことが判明している。従来の地上の雨量計だけで精度よく降雨分

\*RMSE: RMSE(Root Mean Square Error)は二乗平均平方根誤差を意味し、予測値と実績値の誤差をしめす指標の1つである。値が小さい程、予測が正確であることを示す。日本では降雨予測のRMSEは10以下である。

把握するには、イエイワダムの流域面積は 28,206km<sup>2</sup> であるため、20 個程度の雨量計が必要である。地上観測データによって補正した衛星雨量データで把握するとなると、1/5,000km<sup>2</sup> 以上密に地上雨量を観測する必要があり、最低 6 箇所に雨量計を設置することで精度が向上することになり、地上雨量計のみで精度よく降雨量分布を把握するための必要数に比べ、3 割程度の設置数で精度向上が行えると考える。

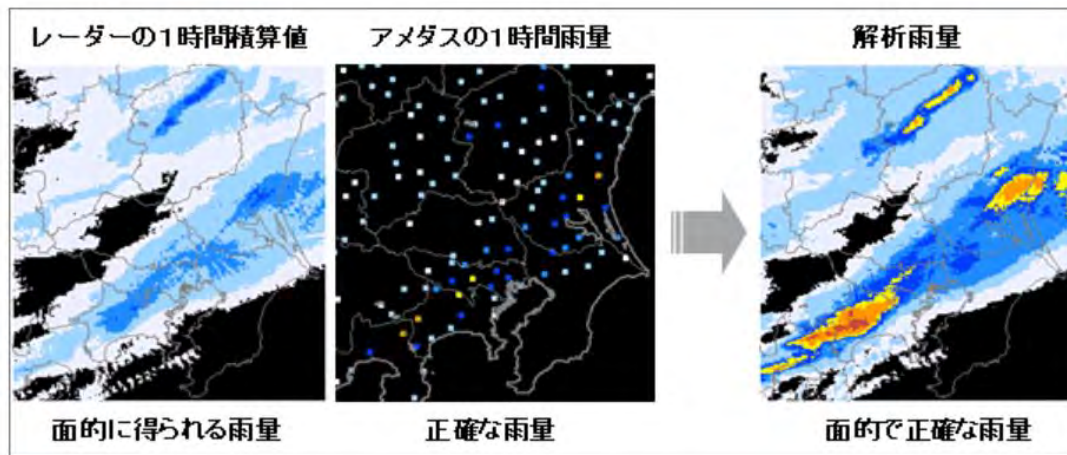


図 5-34 面的雨量情報と地上雨量計を組み合わせた高精度な面的雨量情報の作成

以上より、精度向上を行ううえで、正確な雨量情報である地上観測雨量を把握し活用することは、非常に有効であることから、イエイワダム流域に雨量計を設置し、降雨予測システムに組み込むことを提案する。

### 5.7.7 雨量計の設置


現在のイエイワダムの雨量計はダム周辺に 1 台設置されており、降雨量の観測は 1 日 1 回の頻度で実施している。また、雨量データを取得するためには、現地スタッフが設置した観測機器に溜めたデータを直接取りに行き回収する必要があるため、現在の雨量観測方法では使用できるデータ数が少なく、雨量計を使用したリアルタイム処理を実施することが不可能である。

そこで、今回新たに雨量計を追加設置し、実測雨量データをリアルタイムで使用するための観測データ伝送システムとして、みどり工学研究所の「SESAME システム」を提案する。「SESAME システム」は、既存の通信網（インターネット回線）を利用するため、イエイワダムのような広範囲の流域をもつ地点で観測を行う場合は非常に有効的である。

下記に 1 台当たりの機器の費用を記載する。

表 5-28 SESAME(雨量計)の概算費用と仕様について

項目	費用	備考
SESAME システム	600,000 円	SESAME II -02d (水位計)
雨量計	80,000 円	転倒桁式雨量計
設置費用	100,000 円	人件費等
データ伝送費用	36,000 円/年	設置後永久的に発生する費用 (3,000 円/月)
合計	816,000 円	

名称	SESAME II -02d
仕様	<p>標準仕様：水位計や雨量計を接続</p> <p>観測地点に雨量計と SESAME II -02d を設置して雨量を記録し、クラウドサーバーへ伝送する。その後インターネットを経由して降雨量・流入量予測システムにデータを伝送する。</p> <p>【記録間隔：1 分～60 分間で選択可能 伝送間隔：5 分～24 時間で選択可能】</p> 

出典:JICA 調査団

但し、アクセス通路がないあるいは使用許可が取得されていないために設置工事が困難な場所や携帯電話通信網がなくデータ観測ができない場所など、必要な条件を満たしていない地点である場合、伝送システムを導入することは困難である。

イェイワダムの上流には街が存在しており、アクセスは容易である。携帯電話通信網については、現地調査を実施する必要があるが、比較的良好であることが想定される。またデータ通信が困難な場合は、衛星通信システムを導入することにより、問題を解消することができる。



出典:Google Earth より JICA 調査団作成

図 5-35 イエイワダム流域と主要な街の位置

また、今回提案するリアルタイムの雨量計観測により、人為的なデータの欠測防止やデータを観測するための時間や人件費を削減することが可能である。

#### 5.7.8 ダム貯水池運用改善支援の提案

##### (1) 本邦研修

本邦の水力発電所運用技術（特に年間発生電力量増加に向けた取組み）について理解を深め、研修で学んだ内容を実際の発電所の運用に活用することを目的として、ミ国側の中核メンバーに、本邦の水力発電所運用技術などについて紹介する。想定している研修内容を表 5-29 に示す。

表 5-29 本邦研修内容

水力発電所運用技術に関するセミナー等
<ul style="list-style-type: none"> <li>・本邦の水量発電所運用技術の紹介（水系一貫運用、流入量予測技術等）</li> <li>・本邦の水力発電所の見学</li> <li>・イェイワダム年間貯水池運用改善の提案</li> </ul>
計画実施期間：5日間
対象者：EPGE、NCCの中核メンバーを想定している。

出典：JICA調査団

(2) 現地における運用支援のためのOJT・セミナー

現地でのダム運用支援のためのOJT及びセミナーを実施することを提案する。

現地へ日本の発電運用分野の専門技術者を定期的に派遣し、OJT及びセミナーを実施することで、現地実務でのフォローアップを行い、現地職員の意識・技術の向上・定着を図る。また、必要に応じて運用マニュアルなどの整備も実施する。また運用技術を定着させるためには、OJT及びセミナーを継続的に実施させる必要があるため、最低でも3年から5年間程度実施する必要がある。現地で想定しているOJT・セミナーの内容を表5-30に示す。

**表 5-30 OJT およびセミナーの内容**

水力発電所運用支援に関するOJT及びセミナーの実施
<ul style="list-style-type: none"> <li>・OJT：日本技術者における効率的な発電計画・運用に関する技術指導を実施。 降雨量・流入量予測システム導入後においては、ダム流入量予測システムを活用し、将来の流入量を精度よく把握し、効率的な発電運用を実施するための技術指導を実施する。</li> </ul>
計画実施期間：1ヶ月×4回（3年～5年）
対象者はNCC、イェイワダムの運用職員を想定している。
<ul style="list-style-type: none"> <li>・セミナー：運用改善・貯水池の年間運用の必要性についてセミナーを実施。</li> </ul>
計画実施期間：1日/年（3年～5年）
対象者はEPGE、NCCの中核メンバーを想定している。

出典：JICA調査団

(3) 降雨量・流入量予測システム導入時のOJT

提案した流入量予測システムは、モデル化に用いるデータ数が少ないため、流入量の実績と予測流入量とで乖離が発生する可能性がある。データを蓄積しモデルを再構築することで乖離を補正し、予測の精度を向上させることができる。システムの運用開始後は、蓄積したデータから予測精度を向上させるため日本の技術者を派遣し、OJTによるトレーニングを行うことが必要であると考える。さらに、雨量計を設置する場合は、雨量計の設置方法やメンテナンス方法について、日本技術者を派遣し、OJTを実施することを提案する。

表 5-31 OJT の内容

1. 降雨量・流入量予測システム導入時のOJT
<p>1-1. 降雨・流入量予測システム研修</p> <p>計画実施期間：2日間</p> <p>日本の技術者による降雨・流入量予測システムの構成のレビューと利用方法に関する研修を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・システム構成のレビュー（講義）</li> <li>・利用方法（講義＋実習）</li> </ul> <p>1-2. モデル改善</p> <p>計画実施期間：5日間</p> <p>日本の技術者による降雨・流入量予測システムの検証方法、モデル改善方法に関する研修を行う。</p> <p>対象者は、NCC、イェイワダム職員を想定している。</p>
2. 雨量計設置時のOJT
<p>2-1. 観測機器の設置と維持管理のための現地研修の実施</p> <p>計画実施期間：2日間</p> <p>日本の技術者による観測機器の設置に関する設置方法等の研修をミ国側の担当者に対して行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・システム及びデータ伝送の構造（講義）</li> <li>・設置方法（講義＋実習）</li> </ul> <p>2-2. 実際の現地への機器設置時にOJT実施</p> <p>計画実施期間：約1週間</p> <p>2-1.の現地研修で学んだ内容について理解を深めるために、実際の設置作業現場においてOJTによる技術指導を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・参加者が自ら現場で機器を設置し、日本の技術者がOJT参加者によって設置された機器の設置方法の間違いや留意点を指摘・修正する。</li> <li>・機器の設置後に、参加者とともに各パーツと配線が正しく接続されているか、データが伝送されているかを確認する。</li> </ul> <p>対象者は、イェイワダム職員を想定している。</p>

出典:JICA調査団



下記に降雨量・流入量予測システムと雨量計設置の計画工程表を示す。

表 5-32 予測システム計画工程表

項目	1年目	2年目	3年目以降
①降雨量・流入量予測システム			
1.現状把握	■		
2.データの収集・整理	■		
3.予測モデルの設計	■		
4.リアルタイム処理システムの構築		■	
5.演算システムの構築		■	
6.結果表示システムの構築			■
7.降雨量・流入量予測システムの導入			■
8.現地OJTの実施			■
9.降雨モデルの改良			■
②雨量計			
1.機器設置場所検討	■		
2.機器の製造	■		
3.機器の設置		■	
4.現地OJTの実施		■	
5.データ観測			■

出典:JICA 調査団

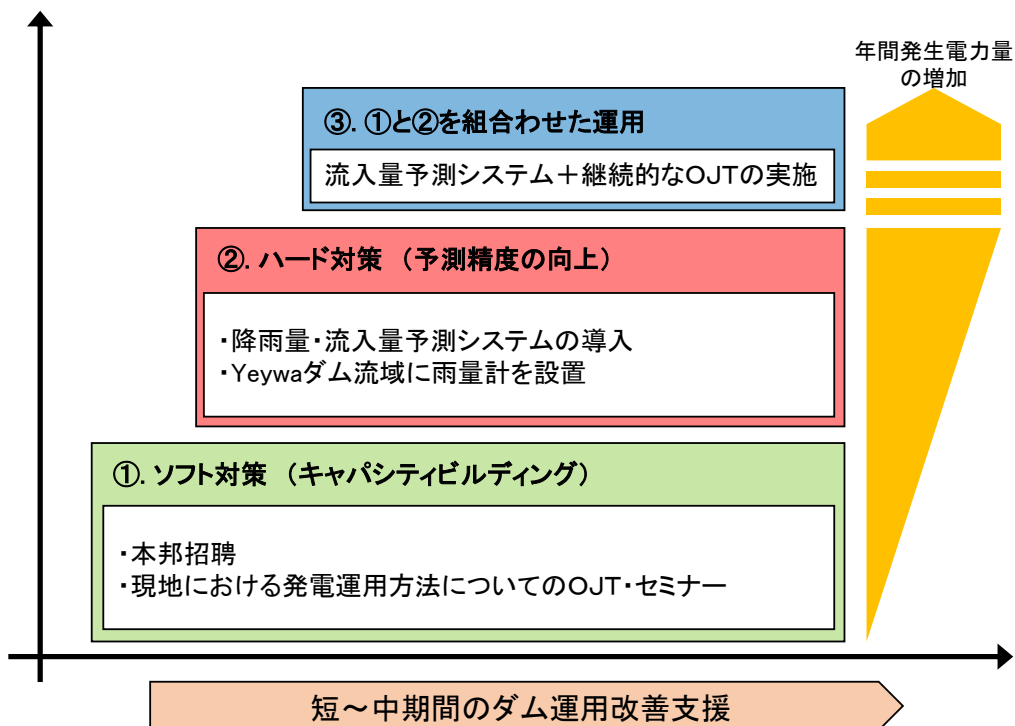


図 5-36 ダム貯水池運用改善支援方法

出典:JICA 調査団

## 5.8 系統運用

ミ国の系統運用は、首都ネピドーのNCCとGCC、ヤンゴン地区のLDCの3地点で管理されている。各組織の役割を以下に示す。

GCCはEPGEの配下の機関であり、発電所の定検状況を考慮して、各発電所の可能出力をNCCに連絡するといったバックアップを行っている。

表 5-33 系統運用に関する組織の役割

組織	場所	役割	通信方法	備考
LDC (Load Dispatch Center)	ヤンゴン	周波数制御	電話	
GCC (Generation Control Center)	ネピドー	NCCのバックアップ (稼働、保守状況等)	電話	発電量を把握するための遠隔モニタリングシステム導入の要望あり
NCC (National Control Center)	ネピドー	発電計画	Siemens System (HI System)	2015年にシステム導入 発電量データは変電所フィードになるため、発電機毎の発電量の把握は不可

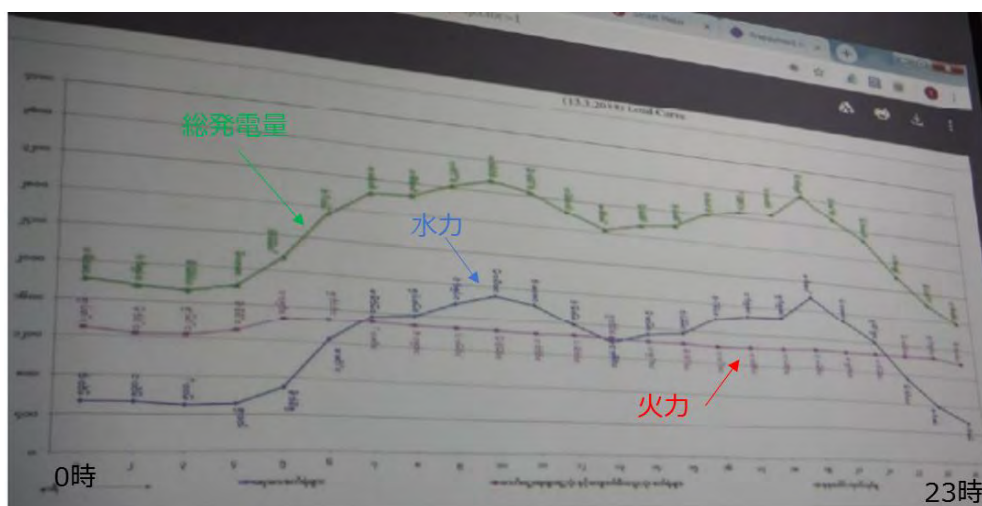
出典:JICA 調査団

日本では、系統システム全体として経済的な運用を行うため、各発電所の発電コスト等のデータを管理し、メリットオーダーに基づく給電指令を実施している。ミ国においても、EPGEは発電コストが安価な水力発電設備を最大限活用したいと考えているものの、以下に示す様々な制約により、困難な状況にある。

- (1) 送電容量の制限
- (2) ダム貯水量制限、季節による雨量変動
- (3) IPPへの最低稼働保証を逸脱した場合のペナルティ
- (4) 発電予備力の確保

従って、ミ国の電力事業を改善するためには、火力、水力発電設備の維持管理の改善に加えて、電力系統の運用方法の改善、すなわち”System Optimization”が重要になってくる。

以下に、DPTSCへの聞き取りで確認した、乾季における1日の発電量カーブを示す。



出典:DPTSC の資料より JICA 調査団作成

図 5-37 発電量 1日カーブ(乾季)

表 5-34 発電パターン

	IPP		EPGE	
	水力(5ユニット)	火力(10ユニット)	水力	火力
乾季	MAX Load	100% Load	MAX Load	100% Load
雨季	100% Load	80% Load	100% Load	50% Load

出典:JICA 調査団

雨季と乾季で火力、水力発電の運用方法は異なっており、基本的に次のように運用している。

乾季：ダム貯水量、流入量が十分でないため、火力発電を 100%出力で運転し、水力発電で需要変動を吸収する運用

雨季：水量が十分であるため、水力発電を 100%ロードとし、火力発電所の出力を抑える運用 (50%程度)

IPP (火力) については、最低稼働保証を守る範囲で出力を下げる

火力の運転優先順位については、IPP に関しては契約時の熱効率、EPGE 所掌の発電所については、月毎の発電電力量とガス消費量から熱効率を算出し、決定しているとのことであった。しかし、部分負荷での効率や起動停止により生じる起動損失は、特に考慮されていない。

これらの詳細な検討については、各発電所の正確なデータが必要であるが、各発電所の現地調査の際に、電力量計、ガス流量計のメンテナンスが適切に実施されておらず、精度に問題があること、およびデータの蓄積がされていないことを確認している。このため、各ユニットの詳細な熱効率 (定格負荷、部分負荷、起動損失等) は把握できていない状態である。従って、各計器を適性にメンテナンスすることおよび、デジタル化により、遠隔にデータ確認、蓄積できるようにすることが、運用の適正化に繋がると考える。

また、水力発電については、主要な需要地であるヤンゴン地域に送電するための送電線ロスについて

ても考慮するが、詳細な算出までは行われていないとのことであった。

以上のように、各発電所の正確な熱効率データがないことや、運用に関する教育（優先順位算出方法等）が十分でないことから、系統運用の最適化が達成されていない。従って、発電所維持運営方法の改善で提案している EPGE における KPI の管理を行うとともに、DPTSC における系統運用における技術協力を行っていき、電力事業全体で改善を行っていくことを推奨する。

## 第6章 本邦技術(特に中小企業の有する技術)の活用

本章では、国内発電所に採用されている発電設備保全の向上に寄与する機器のうち、本邦技術(特に中小企業の有する技術)が用いられている一般的なサービスについて紹介する。その中でも、ミ国内発電所に効果が見込めるサービスについて、各中小企業へのヒアリング結果や現地でのデモ結果を踏まえて具体的な活用方法を提案する。

### 6.1 本邦技術の紹介

#### (1) ポータブル測定器

本邦には価格は高いが高性能で使いやすい製品が多く、発電所の日常管理に有効活用することで、トラブルの早期発見や未然防止による設備の稼働率向上が期待できる。

発電所での活用例を以下に紹介する。

##### a. 携帯サーモカメラ

サーモカメラを使用して設備を確認することで、温度分布の差によりガス漏洩や蒸気漏洩、回転機器等の補機類の異常兆候などを視覚的に確認することが可能となる。上記不具合を早期に発見できれば、ガス・蒸気漏れによる効率低下に伴う燃料費の増加や補機類の異常兆候による計画外停止を避けることができ、経済的に貢献し得る。また主要箇所を定期的に撮影することで、異常発生時の傾向監視にも活用することができる。更には突発的な不具合に対して撮影し状況説明に活用することで、巡回点検員、保守要員内で正確な状況を共有することができ、二次災害の防止等、安全面でも貢献し得る。

以下に携帯サーモカメラの活用例を示す。

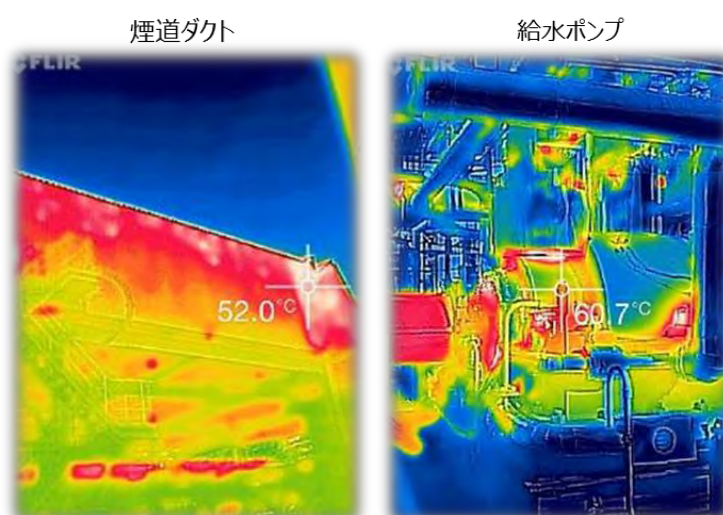


図 6-1 携帯サーモカメラの活用例 出典:JICA 調査団

現地調査ではGT, HRSGの運転中機器においてガス漏れ、蒸気漏れ、機器の発熱等が確認された。

また HRSG ケーシング下部やバイパスガスダンパより排ガス漏れが確認されており、発電所の効率低下の一因となっている。さらには排ガス漏れによる加熱部もあり、接触により所員が負傷する可能性がある。以上のことから、ガス漏れ箇所の把握による発電所の経済的運用および安全作業の手段として携帯サーモカメラを導入した点検は効果的であると考ええる。

b. ウェアラブルカメラ

設備の動作状況確認や現場機器操作時に、従来であれば、対応者の力量によっては複数名での作業が必要となっていたが、映像による視覚情報が加わることで迅速かつ的確に対応でき業務効率化と保安力の向上が図れる。また機器の稀頻度操作等の映像を残しておくことで、操作経験がない作業員への教育ツールにもなり得る。

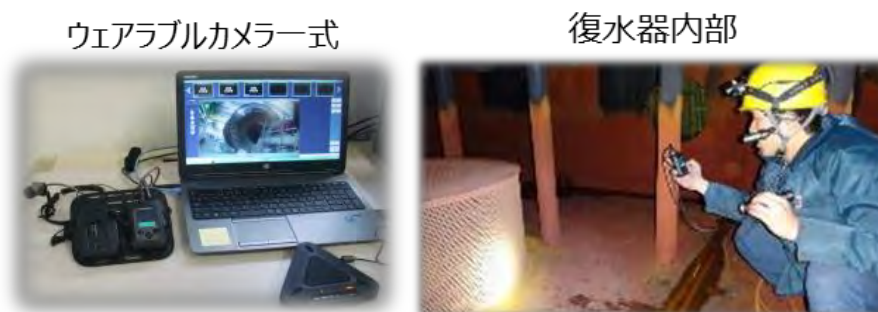


図 6-2 ウェアラブルカメラ

出典:JICA 調査団

火力発電所では運転・保守に関する発電所員の教育機会が限られており、技術力不足による設備の損傷、出力・効率低下も発生している。ウェアラブルカメラを活用することで、経験豊富な作業員が遠隔にて支援することができ業務品質の向上につながる。

また、映像を記録化することも可能であり不具合要因分析や再発防止対策の検討、同種事象への水平展開により、運転・保守に関する能力向上につなげることができる。

c. タブレット機器

タブレット機器を活用することにより業務効率化と高度化が図れる。発電所での活用事例としては以下の通りである。

- (a) タブレット上の電子帳票に点検結果を直接入力することで、転記不要で帳票作成が可能となる。
- (b) タブレットにより関連系統の図面を確認でき、紙ベースの系統図を複数枚持ち歩くことが不要となる。また、現場にて系統確認をする必要が生じた場合にも、系統図を確認する為に事務所に戻る必要がなくなる。
- (c) 巡回点検時にプラント運転状態を把握することができ、プラントの異常状態の早期発見に繋げることができる。



図 6-3 タブレット機器の活用事例

日常点検や運転業務において記録の採取が行われているが、記録は手書きである。一部では記録をエクセルに転記し電子化されているものの傾向監視等に活用されていない。このような現状から、記録採取にタブレット、スマートフォン、スマートペン&ノート等を活用し、巡回点検・試験記録を電子化することが有効であると考えられる。作業効率の向上やデジタル化による情報共有の迅速化、転記ミスをなくすことで品質向上が図れる。さらに電子化されたデータを傾向監視に活用することも可能であり、設備運用の高度化にも活用が見込める。

## (2) スマートバルブ

バルブ（制御弁）にセンサーを搭載し、設備稼働中の弁摩擦力、供給空気圧量、空気流量等のデータ収集を可能にした次世代バルブである。

自己診断機能等を有している他、収集したデータを活用することにより、以下が可能である。

- 弁摩擦力による弁異常・劣化兆候の把握による保全周期の最適化
- 供給空気圧力、空気流量等の監視による減圧弁の故障、空気配管からの漏れの状態監視など、部品の劣化・磨耗の予測や機器の機能低下の発見
- 弁調整方法の簡略化による作業時間の削減
- 試験記録の自動作成による省力化

一般的に発電所で使用されている制御弁（空気式）は、駆動系統、弁本体共に経年的に磨耗・劣化する部位がある。劣化状況の確認のためには、周期的な分解点検が必要である。一方、スマートバルブを使用し、制御弁の磨耗・劣化状況等を把握することができれば、従来の時間基準保全から状態基準保全への移行が可能となる。また空気式ポジションナと異なり、磨耗劣化部品が少なく電気式であることから経年的な器差が発生しにくく精度も良い。

本製品の導入に関して、ポジションナの更新、システム構築等にかかる初期費用が高額なため、出力の低いプラントや制御弁の数が少ないシンプルサイクルGTでは費用対効果は見込めない。制御弁の数が多く費用対効果が見込める大型プラントでは導入可能性が高まる。



図 6-4 スマートバルブの製品図

(出典：<https://www.koso.co.jp/products/accessory/smartpositioner/KGP5000.html>)

### (3) 緩まないねじ

発電所で使用されている回転機器や弁等に使用されているねじは振動や応力にさらされており、従来のねじでは緩むリスクがある。ねじが緩むことにより、主要機器の損傷や蒸気漏れ・ガス漏れ等に繋がることもあり、最悪の場合、発電所員の負傷や発電所の計画外停止に繋がる可能性もある。

しかし、本製品は緩むことがないため、緩みに伴う主要機器の不具合発生を防止でき設備稼働率の向上に寄与する。また緩みの確認・締め直しに伴う労働力の削減も期待できる。

ミ国発電所の現地調査において、ねじの緩みによる不具合は確認されなかったが、発電設備は長時間の回転や振動にさらされる場合が多いため、ねじの緩みによる不具合が発生する可能性が高い。しかも、緩み状況が運転中に確認できず、事象が顕在化してから確認されるケースが多い。そういったことから本製品を活用し、振動によるねじの緩みに起因した機器の破損を回避することは有効であると考えられる。

上述したようにねじの緩みによる不具合が確認されなかったため、先方が本製品およびその重要性について認識している可能性は低い。導入に向けて、本製品の有効性について先方への説明が推奨される。

緩まないねじの製品図を以下に示す。





図 6-5 緩まないねじ

(出典：[https://www.hardlock.co.jp/wp-content/uploads/pdf/HLN\\_Applications.pdf](https://www.hardlock.co.jp/wp-content/uploads/pdf/HLN_Applications.pdf))

#### (4) モーター電流診断装置

電気盤にてクランプメーターを使用し運転中のモーター電流信号を計測することで、モーターおよび回転機器の状態異常が検知できる。そのため、水中ポンプ等、従来は劣化状況の確認のために分解点検を実施する必要のあった機器の管理方法を時間基準保全から状態基準保全へ移行させることが可能となる。また電流信号の計測結果を無線ネットワークにより遠隔監視することもできるため、電気信号解析によるモーターおよび回転機器の早期異常兆候検知による予知保全も可能となる。

ミ国発電所では予算面や保全に関する知識不足から、機器の多くが事後保全となっている。事後保全では、不具合が顕在化した際に長期停止による修繕が必要となるケースが多い。本装置を用いれば、異常兆候検知により不具合が深刻化する前に小修繕での対応が可能となり、修繕費の削減、機器稼働率向上に寄与する。

ただし、本製品の導入効果を最大限発揮させるためには、ミ国発電所内での機器の管理方法を一新する必要がある。そのため導入に併せて本製品のデータ活用に必要な O&M 技術、例えば異常兆候発見時の対応方法やマニュアル整備の教育が推奨される。

以下にモーター電流診断装置の構成例を示す。



図 6-6 モーター電流診断装置の構成図

(出典 : <https://www.atpress.ne.jp/news/175772>)

#### (5) 振動センサー・解析システム

一般的にガスタービンや蒸気タービン、発電機等、設備不具合が発生した際の影響が大きい機器に関しては軸振動・位相を測定することが可能なセンサーが常設され解析システム等を活用し連続監視している。一方、BOP 機器に関しては、不具合発生時の影響が小さいことから解析システムを活用せず、ポータブル振動計等を用い、定期的に設備管理している。

近年では小型・軽量のバッテリー内蔵ワイヤレス振動センサーが開発されており、容易に追設可能である。このような振動センサーを解析システムと併用し、異常時の振動解析や、異常兆候の監視による事故の未然防止にも活用することが可能となっている。

以下にポータブル振動計および振動解析システムの例を示す。



図 6-7 ポータブル振動計

(出典：<https://www.shinkawaelectric.com/products/sensor/zark.html>)

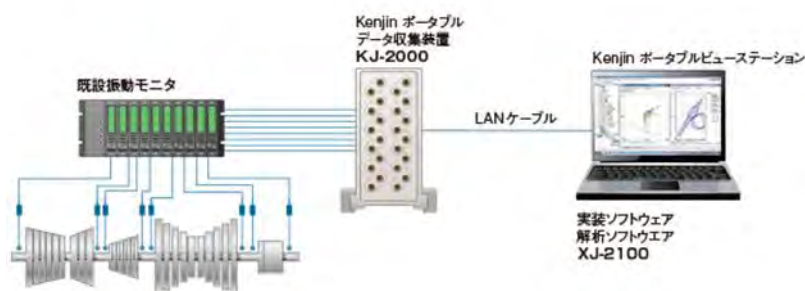


図 6-8 振動解析システムの構成図

(出典：[https://www.shinkawaelectric.com/products/analysis\\_diagnostics/kenjin.html](https://www.shinkawaelectric.com/products/analysis_diagnostics/kenjin.html))

「ISO18436-2 準拠 機械状態監視診断技術者（振動）」の資格認証制度の正規訓練機関として、振動診断のスペシャリストによる国内外への訓練セミナーを実施している民間企業もある。

第1回現地調査において補機の振動測定を実施した結果、振動値がJIS管理基準値を超過していたものが確認されている。分解点検や保守の記録がなく、部品劣化やグリス切れ等、振動発生原因については特定できない状態にあったが、本システムを採用することで異常振動発生時の要因分析と異常兆候の監視が可能となり、設備の重故障による発電所の長期計画外停止を避けることができる。ただし、本製品の導入効果を最大限発揮させるためには、ミ国発電所内で要因分析および異常兆候の監視ができるようになることが条件である。そのため導入に併せて必要となるO&M技術の教育が推奨される。

#### (6) IoT 計器

国内では作業時間短縮による労働生産性向上の観点から、記録採取を自動化するため汎用技術を活用した安価で様々なタイプのIoT計器が開発されている。以下に国内調査にて確認できた製品を紹介

介する。

従来の伝送器等に無線機能を具備した製品が市場に流通している。監視機能だけでなく、大規模なデータ収集も可能とする製品が多い。

他にもフィールドテスト中のIoT機器として、現地指示計器のガラス面にタグラベルを取り付け、システムと連携させることで遠隔監視が可能となる製品もある。機器仕様書・図面・取扱説明書をタグラベル情報に連携することも可能であり、現場で携帯端末による情報確認により作業効率向上が期待できる。以下に計器用RFIDタグラベルを用いた設備保全管理システムの構成例を示す。



図 6-9 設備保全管理システムの構成例

(出典: [https://www.jmfrri.gr.jp/content/files/Open/2017/20170210\\_IoT-usecase-SME/34\\_kobata\\_Gauge.pdf](https://www.jmfrri.gr.jp/content/files/Open/2017/20170210_IoT-usecase-SME/34_kobata_Gauge.pdf))

電流や電力、角度および周波数を計測できる超小型センサーを計器等に導入することで、データ収集を自動化し、事業運営を効率化する取り組みも見受けられる。

その他にも監視カメラにより現地指示計を撮影することでプロセス値を読み取り、データとして自動入力できるシステムも開発されており、現場ニーズに応じた製品の採用が見込める。

前述の通り、ミ国では発電所員が巡回点検の際に現地指示計のプロセス値を手書きにて記録している。本システムを採用することにより、作業員の記録採取・報告書作成にかかる作業時間の短縮や膨

大なデータ蓄積による信頼性向上が図れると考える。

なお、本製品は通信規格としてLPWA (Low Power, Wide Area)規格を採用しているケースが多い。ミ国と日本では一部規制が異なり、既製品をミ国発電所に採用できないため、現状では安価なサービス展開は難しい。

#### (7) リアルタイム現地データ収集システム

発電所では主要機器やプラント制御に必要なプロセス値においては、リアルタイムにデータを採取するシステムが構築されているが、重要度の低いBOP機器に関しては必要に応じ、現場にプロセス値を確認する必要があるものが多い。

近年では、無線や情報通信技術の進歩により、安価に現地データを収集するシステムの構築が可能である。特にインターネットクラウド上でデータ蓄積・分析が可能となるシステムを構築すれば、容易にデータの見える化、データ分析による保全の最適化が図れる。以下にシステムの構成案を示す。



図 6-10 リアルタイム現地データ採取システム構成案 出典:JICA 調査団

ミ国発電所では、主機に関してはプラントメーカーによるLTSAにより監視システムが構築されているケースが確認された。一方でGTの付属設備やBOPに関して十分な監視ができるシステムが構築されていない。最近では、上述のように安価で容易に遠隔監視システムを構築でき、不具合事象の早期発見や最適保守につなげることができる。しかしながら、管理対象となる設備によっては削減対象となる保守費用も安いことから効果は限定的となる。そのため、システム構築にあたっては、業務効率化や保守費用削減効果等、費用対効果について十分な検討を行うことを推奨する。

## (8) Pat!naLock®-Σ

火力発電所において高温・高圧の蒸気や水、排ガス等を取り扱う設備は、厳しい腐食環境にさらされている。その環境下では、ダクトおよび配管等の腐食減肉に対する定期的なメンテナンスが必要となるため、コスト低減の観点から、耐腐食性の向上が課題となっていた。Pat!naLock®-Σは、鉄表面を本来の自然の姿である酸化物などに還す（さびさせる）ことで逆に防食する新発想の防食システムである。環境中の腐食因子及び母材の鉄とパティナーロック中の有効成分が反応し、防食性の高いさび層を形成する。このような耐酸性反応性塗料を、特に腐食の激しい箇所や新規ボイラチューブ導入の際に使用することにより、ステンレス等の高価な鋼材を使用することなく、設備の延命が可能となり、大幅なコスト削減が見込める可能性がある。

下記に Pat!naLock®-Σ による耐酸性防食層形成メカニズムを示す。



図 6-11 Pat!naLock®-Σ による耐酸性防食層形成メカニズム

(出典：HP <https://www.mhps.com/jp/news/pdf/20171127.pdf> より調査団作成)

ミ国内火力発電所に供給されている燃料ガスには硫黄分が含まれており、GTの排ガスが流入するHRSGは厳しい酸性腐食環境下に晒されているといえる。そのため、Pat!naLock®-ΣをHRSG節炭器のチューブ等腐食が激しい箇所に適用することにより、当該設備の腐食減肉量を低減し設備稼働率の向上に貢献することが可能である。

ミ国発電所の多くは運用年数が高く、またO&M能力不足により設備劣化がすすんでいることが予測されるため、本製品の導入にあたって現地点検を含めた費用対効果の評価が推奨される。

## (9) 水処理装置

発電所では様々な目的で水処理装置が必要である。例えば給水処理に関しては、水質に起因するボイラ・タービン系統等における腐食、スケール付着などの障害を未然に防止するために、必要に応じて前処理装置や純水装置等の水処理装置を設置し、給水の工業規格(JIS)で定められた水質を維持している。また排水処理に関しては法律や条例、協定により定められた厳しい排出基準を遵守するため、必要となる排水処理装置を設置している。

このような背景から本邦の水処理装置メーカーは電力会社に対し、上記給水の工業規格(JIS)や厳しい排水基準に対応できる信頼性のある装置を長年に渡り供給してきた。また造水装置は世界的に認知され、給水・排水においても、膜、樹脂性能において世界的最高水準にある。さらに優れた自動運転技術により効率的なO&Mが可能であり、発電所運用において重要な給水・排水の水質安定性を向上させ、長期的な安定運転が期待できる。

下記に一般的な水処理設備の処理系統の一例を示す。

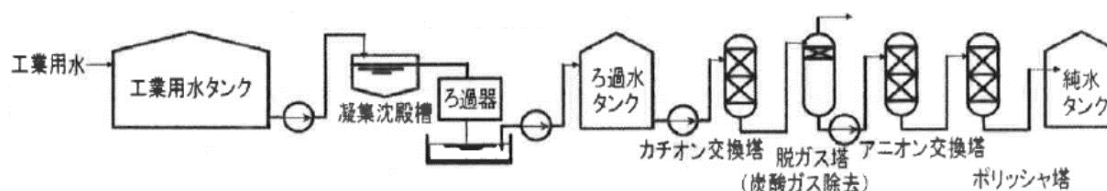


図 6-12 水処理系統概要図

(出典：三菱重工技報 Vol.50 No.3 (2013))

発電所用水の水処理装置は設備劣化が激しく、バイパス運用されている発電所も見られた。O&M能力が十分でなく適切な設備の維持管理ができていないものと考えられる。発電所用水の水質不良はタービン翼へのスケール固着による発電所効率低下を招くため、本装置の導入検討が必要と考えられる。

排水処理装置においては発電所に設置されていない場合が多い。さらに、薬品等を含んだ水は適切に処理されることなく排水されている状況も見られた。排水されている水質は一般的な国際水準を超過している可能性が高く、周辺住民や動植物への影響が懸念される。以上から、ミ国発電所へ水処理装置を導入し、排水基準を満足させることが望まれるとともに、長期的に基準を満足できるよう、適切な運用・管理方法の指導を併せて実施することが望ましいと考えられる。

#### (10) 吸気冷却装置

吸気冷却装置とは、夏場等の気温が高い時期にガスタービンの吸気温度上昇による最大出力の低下を抑制するために吸気を冷却し出力の回復を図る装置である。

吸気冷却方式には大きく2種類あり、チラー方式と水噴霧式がある。以下に各吸気冷却方式の特徴および吸気冷却装置の概要図を示す。

表 6-1 各冷却方式の特徴

吸気冷却方式	出力回復量	補機動力消費量	吸気圧損	設備コスト
水噴霧式	小	小	小	中
チラー式	中	中	中	大

出典:JICA 調査団

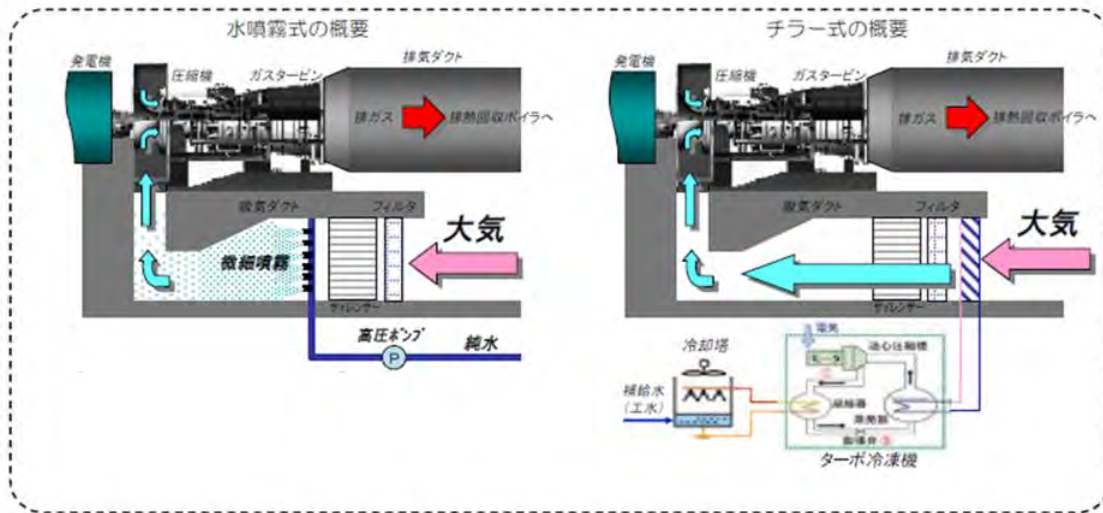


図 6-13 吸気冷却装置の概要図

出典:JICA 調査団

取付けが容易で、性能が良く価格面も優れた製品がある。ミ国では1年を通して高温であるため、本装置設置により出力の向上に期待が出来る。

本装置の導入に関して、水処理装置にて処理された水が必要となる。既存発電所の多くは水処理装置が設置されておらず、水処理装置の追加設置も必要となるため小型GTでは費用対効果は期待できない。一方で、大型GTや既に水処理装置が運用されている発電所においては本装置の費用対効果が期待できる。

(11) RO 装置（海水淡水化装置）

RO 装置とは海水を工業用水や飲料水として利用するために海水を取水して淡水化処理を行う装置の一種である。逆浸透法と呼ばれる圧力の高い海水を特殊な膜（水は通すが水に溶解している塩類は通しにくい性質を有する膜：半透膜）に高圧水を供給し真水のみを透過させ淡水を得る方法である。RO 装置を使用することにより、水資源に乏しい地域でも海水、下水等を利用し、発電所用水等を確保することが可能である。

以下に RO 装置の概要図を示す。

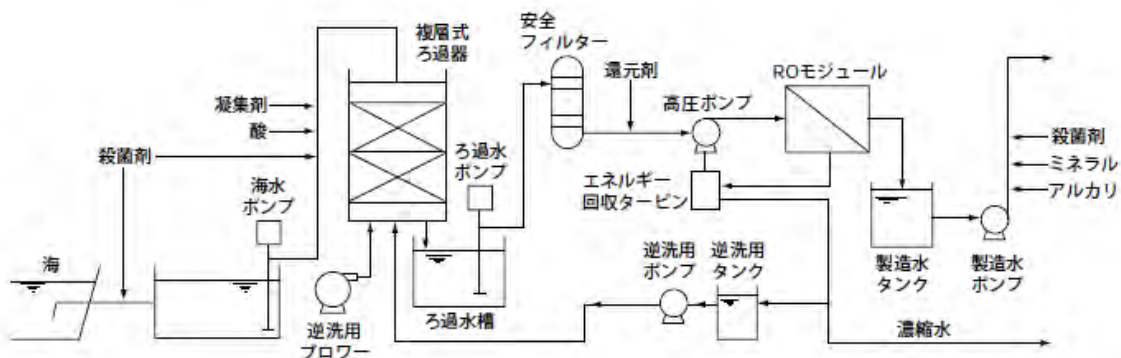


図 6-14 逆浸透法概要図

(出典：三菱重工技報 Vol.39 No.5 (2002-9))

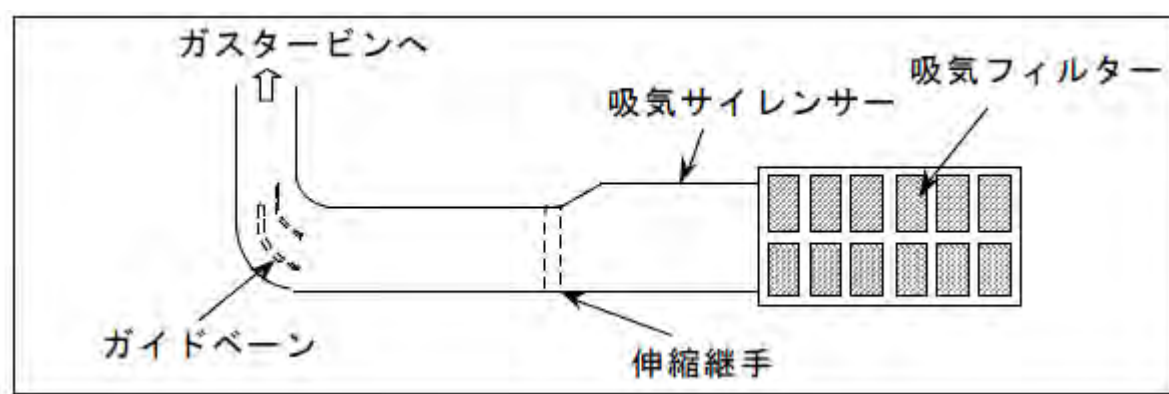


ミ国では河川水（地下水）においても汽水に近い水質を有する場合がある。上記の場合、発電所用水の受入条件を満足するためにはRO装置の使用が求められるが、本装置を設置しておらず水質に起因した不具合事象が発生したことがある。またRO装置を設置している発電所では当該機器の劣化が激しく、O&M技術力不足により適切に運用・管理されていないと想定される。本邦製品は高品質なRO膜により耐久性の向上が図れると共に、高効率のエネルギー回収装置の設置により省エネにも寄与し得るが、導入に併せて長期運用ができるよう適切な運用・管理方法を指導することが推奨される。

## (12) 吸気フィルタ

ガスタービンを有する発電所の吸気系統においては燃焼用空気をスムーズに導入するだけでなく、空気中の異物や塵埃を取り除くとともに騒音を防止することが重要である。ダストやミストを含む空気を吸気した場合、空気圧縮機動静翼を磨耗させ、付着して性能低下を引き起こし最悪の場合にはサージングに至る。一般に圧縮機翼の磨耗は $10\mu\text{m}$ 以上のダストで、圧縮機翼の汚れは $10\mu\text{m}$ 以下のダストにより発生するとされており、吸気フィルタに高効率の3段式フィルタが多く採用されている。

下記に吸気系統の概要図を示す。



出典:JICA 調査団

図 6-15 吸気系統の概要図

ミ国発電所では1段式フィルタおよび圧縮機翼洗浄の組み合わせにより異物や塵埃による圧縮機翼の損傷を防ぐよう設計されている。しかしながら、不具合による圧縮機翼洗浄装置の停止や吸気フィルタのろ材の劣化に伴う吸気フィルタバイパス運用により、異物や塵埃が空気圧縮機内に進入し発電所効率の低下を引き起こしている。

本邦企業の吸気フィルタ製品はろ材が優れており、耐久性が高いため、フィルタ交換することにより保全周期の延長、発電所の高稼働率維持が期待できる。ただし、本製品導入に関しては過酷な現地運用条件を考慮したフィルタ交換頻度および現時点での空気圧縮機翼の劣化状況から費用対効果を評価することを推奨する。

### (13) 監視カメラ

発電所構内における監視カメラは、危険物等の防災監視、運転員の現地確認の省力化、環境設備の運転状況監視を目的に設置されているケースが多い。従来は高価なアナログカメラを用いたカメラシステムの採用が主流であったが、近年は安価なデジタルカメラ（Webカメラ）とクラウドサービスを用いたシステムも多く採用されている。

デジタルカメラシステムでは、その特性を利用したサービス展開されており、従来からの設備の動画監視だけでなく、動体検知や温度検知、人間の顔を撮影した入退出管理に活用されている事例も多く存在する。カメラに通信機能が備え付けられたものもあり、PoE機能等を上手く活用すればニーズに応じたシステムを安価に構築することができる。

以下に活用方法例を記載する。

- ・危険物（油・ガス等）の漏洩、発災監視
- ・発災時の防消火装置の動作状況確認
- ・発電設備の監視の効率化
- ・動体検知、温度検知機能による異常早期発見
- ・構内への入退出管理
- ・不法侵入監視
- ・ダム水位監視による水力発電所の効率運用

ミ国の一部の発電所にも既にセキュリティー確保のために変電所用監視カメラが設置されており、別の発電所でも同目的で監視カメラを導入したいというニーズが確認できている。監視カメラは多様化されており、ニーズに対応した安価なシステムとサービス提供が可能であり、設備異常の早期発見、安全性の向上を目的とした監視カメラの設置は効果的であるといえる。

## 6.2 具体的な活用事例

6.1項で紹介した機器・サービスの現時点での総合的な検討結果をまとめると以下のとおりである。

ニーズ、保守性、実現性の面から、デバイス、システム等を評価し、5章で分類した SolutionA, B, C への適応の可能性について Solution 区分として整理した。

Solution A: 遠隔監視に組み込めそうなもの

Solution B: O&M教育および日常保守点検に使用できるもの

Solution C: 大規模な工事が必要となるもの

項目	ミャンマーにおける 実現性	コメント	Solution 区分
携帯サーモカメラ	大	・安価な海外製のポータブル製品が市場にも多く流通しているため、価格面での優位性は低い。一方、本邦製品は、温度測定範囲が広く、高精度であり機能面では優位である。他にも測定値を温度データとして取得できる等、ユーザー側の使いやすさが考慮されており、不具合兆候の確認等への活用が期待できる。	B
ウェアラブルカメラ	大	・本邦製品は価格面の優位性は低いが、高精度で機能面で優位性がある。VR等と連携したサービスも展開されており、教育用教材としての活用、遠隔業務支援や不具合要因分析等のO&M能力向上につながる幅広い使い方が期待できる。	A,B
タブレット機器	大	・本邦企業製のサービスは多岐にわたっており、帳票の電子化、設備管理への活用等、業務効率化および高度化が期待できる。ミャンマーでの調査において子どもを実施したが、サービスの導入について前向きな意見が多かった。現状のO&M業務等を踏まえれば、現在の電子化からサービス拡大が見込めると想定する。	A,B
スマートバルブ	中	・バルブ駆動部の遠隔監視等により保守費用の削減につながる可能性があるが、ボジションの更新、システム構築等、導入にコストがかかるため、小型プラントやシングルサイクルGTでは費用対効果は見込めない。大型プラントであれば費用対効果が見込め、導入可能性が高まる。	A,C
緩まないねじ	中	・本邦企業製の独自技術が用いられており、振動等によるねじの緩みに起因する主要機器の不具合発生を防止することができる。ミャンマーでの調査ではねじの緩みに起因する不具合実績は確認されなかったが、日本国内での不具合実績を踏まえれば、事故分析が不十分であった可能性もある。本製品の導入に向けて先方へ本製品の有効性の説明が推奨される。	C
モーター電流診断装置	中	・本装置を使用することにより、異常兆候の把握が可能になる。ただし、導入に併せてそれらのデータ活用に必要なO&M技術の教育が推奨される。	A,B
振動センサー・解析システム	中	・振動解析により異常の早期発見が可能になる。ただし、導入に併せて振動解析やそれらのデータ活用に必要なO&M技術の教育が推奨される。	A,B
IoT計器	中	・国内では汎用技術を活用した安価な製品が市場に展開されている。作業員の記録採取・報告書作成にかかる作業時間の短縮や膨大なデータ蓄積による信頼性向上が図れる。ただし、使用可能な周波数帯の違い等により本邦製品をミャンマー国内の発電所にそのまま展開することは難しい。	A,B
リアルタイム現地データ収集システム	中	・主機のシステムはプラットフォームによるL T S Aとあわせてサービス展開が見込める。プラントの運用管理、付属設備やBOPに対して、汎用技術等を活用した安価なサービスが展開されている。システム範囲により費用対効果が限定的なため、システム構築にあたっては費用対効果の評価が推奨される。	A,B
PatinaLock®Σ	中	・ミャンマーの発電所にて使用されているガスには硫黄分が含まれており、ボイラー内部配管への本製品の塗布により硫酸腐食を防止することができる。ただし、既存発電所は運用年数が高いものが多く、またO&M能力不足により設備劣化が進んでいると予測されるため、現地点検を言及した費用対効果の評価が推奨される。	C
水処理装置	中	・ミャンマーでの現地調査の結果、プラント用排水の水処理装置が設置されているが、十分に機能していない状況が見られた。O&M能力が十分でなく適切な設備の維持管理ができていないと推定される。本装置の運用改善につながる提案からのサービス展開が必要と考える。	C
吸気冷却装置	中	・既設発電所では排水処理装置が未設置で適切な処理がされず排水が見られた。ミャンマー環境法令の整備が遅れていたためと考えられるが、法整備も進んでおり今後発電所の導入が進むことが予想される。環境対策にあわせて提案からサービス展開が可能と考えられる。いずれの場合も導入に併せて長期運用ができるよう適切な運用・管理方法を指導することが推奨される。	C
R O装置	中	・出力向上に効果があるが、処理された水が必要となる。既存発電所では、水処理装置の追加設置が必要なケースが多く、型GTでは費用対効果は期待できない。一方、大型GTや既設水処理装置が運用されている発電所においては本装置の効果も期待できる。	C
吸気フィルタ	中	・ミャンマーでの現地調査の結果、本装置の未設置による水質（海水）に起因した不具合事故が発生していた。また本装置設置発電所ではO&M能力が十分でないため、装置が適切に管理されておらず、著しい劣化が見られた。本邦製品は高品質なRO膜により耐久性の向上が図れると共に、高効率のエネルギー回収装置の設置により省エネにも寄与し得るが、本装置の導入に併せて、長期運用ができるよう適切な運用・管理方法を指導することが推奨される。	C
監視カメラ	大	・ミャンマーの一部発電所では器材の劣化により圧損が高く、吸気フィルタバイパス運用が実施されている。日本国内の準備より本邦製品の材質は耐久性が高く長期期間使用することが可能と想定するが、過酷な現地条件での交換頻度および空気圧縮機等の劣化を考慮した費用対効果の評価することが推奨される。	C
		・カメラ単体では、安価な海外製品が多くあり本邦製品の優位性は低い。一方、本邦製品では、温度監視や動体検知機能、セキリティ管理等のニーズに応じたシステム構築が可能であり、ミャンマーに合ったサービス展開が見込める。	A

Solution区分は、5章で記載しているSolutionA (Digital Package) 、B(Soft. Infrastructure) 、C(Hard Infrastructure) において、適用可能性があるものを示す。

出典:JICA 調査団

表 6-2 機器・サービス検討結果

今回の調査では、ミ国内の発電所 O&M の実態と EPGE 及び各発電所のニーズの中から、比較的容易に準備・活用できる機器・サービスについて、調査期間中にデモを実施したため、その結果も含め具体的な活用方法を提案する。

#### (1) 電子帳票管理

日常点検や日常運営において記録採取が行われているが、データは手書きで記録されており、月報作成時に必要情報をエクセルデータに入力している。また記録採取されたデータは傾向監視等に活用されていない。このような現状から、調査団はデータ記録・管理方法に改善の余地があると判断した。

改善提案としては、まず、データの記録にタブレット、スマートフォン、スマートペン&ノートを活用し、巡回点検・試験記録を電子化すること有効であると考えられる。これにより作業効率の向上やデジタル化による情報共有、データ入力の自動化による精度向上が図れる他、電子化されたデータから容易にグラフ類を作成できるため、傾向監視に活用することも可能であり、設備運用高度化も見込める。

ミ国での適用可能性を確認するため、第 2 回調査において帳票管理の現地デモを実施した。本トライアルにおいては関電システムソリューションズ株式会社の「Microsoft Power Apps」を活用した。本サービスでは、タブレットから関電システムソリューションズ株式会社作成の業務用アプリにアクセスし、データ入力を行いクラウドにアップロードすることで、事前に設定したデータ記録シートの作成を自動で行うことが可能である。また巡回点検時に発見した不具合箇所に関するコメント入力やタブレットツールで撮影した写真もクラウド上にアップロード可能であり、EPGE 本社および各発電所において早期に情報共有を図ることが可能である。さらに入力画面で通常値、制限値等を設定しておけば入力する際にデータが異常であるかを瞬時に判断することも可能となる。デモにおいては、実際にタブレットからデータ入力を行い、帳票が自動で作成される様子や、入力したデータを活用した傾向監視の方法について実演した。

The image shows a tablet displaying a data entry form. The form has a light blue background and contains several input fields. A date selection pop-up is visible over the 'Date' field.

Site	Unit	Date
Ahlong	No.1	2018 10 22

Recorder Name: \_\_\_\_\_

Gen. Power: \_\_\_\_\_ MW

GT Exh. Temp: \_\_\_\_\_ °C

IGV Position: \_\_\_\_\_ %

図 6-16 タブレット入力画面(例) 出典:JICA 調査団

Time	Gen. Power	GT Exh. Temp	IGV Position	Fuel Gas Flow	Lube Oil Header Temp	No.1 Brg Metal Temp	No.1 Brg Vibration X	No.1 Brg Vibration Y	No.2 Brg Metal Temp	No.2 Brg Vibration X	No.2 Brg Vibration Y	Lube Oil Brg Header Press	Lube Oil Tank Level	Gen Current	Gen Voltage	Gen Frequency
High L	31.7	590	84		74	115	105	105	115	105	105	0.26	77	2052	11	50
Normal												0.172				
Low L					40							0.078				
0:00	0.0	0	0	0	40	40	0	0	40	0	0	0	75	2052	11	50
1:00	10.0	500	70	0	60	90	80	80	60	80	80	0.26	75	2052	11	50
2:00	30.0	590	84	0	70	110	80	80	90	80	80	0.26	75	2052	11	50
3:00	31.7	590	84	0	70	110	80	80	90	80	80	0.26	75	2052	11	50
4:00	31.7	590	84	0	70	110	80	80	90	80	80	0.26	75	2052	11	50
5:00	31.7	590	84	0	70	110	80	80	90	80	80	0.26	75	2052	11	50
6:00	31.7	590	84	0	70	110	80	80	90	80	80	0.26	70	2052	11	50
7:00	31.7	590	84	0	70	110	80	80	90	80	80	0.26	70	2052	11	50
8:00	31.7	590	84	0	70	110	80	80	90	80	80	0.26	70	2052	11	50
9:00	31.7	590	84	0	70	110	80	80	90	80	80	0.26	70	2052	11	50
10:00	31.7	590	84	0	70	110	80	80	90	80	80	0.26	70	2052	11	50
11:00	31.7	590	84	0	72	110	80	80	90	80	80	0.26	70	2052	11	50
12:00	31.7	590	84	0	74	110	80	80	90	100	100	0.26	70	2052	11	50
13:00	31.7	590	84	0	76	110	80	80	100	100	100	0.26	70	2052	11	50
14:00	31.7	590	84	0	80	110	80	80	110	101	101	0.26	70	2052	11	50
15:00	31.7	590	84	0	80	110	80	80	112	102	102	0.26	70	2052	11	50
16:00	31.7	590	84	0	80	110	80	80	114	104	104	0.26	70	2052	11	50
17:00	31.7	590	84	0	80	110	80	80	116	106	106	0.26	70	2052	11	50
18:00	31.7	590	84	0	80	110	80	80	118	108	108	0.26	70	2052	11	50
19:00	31.7	590	84	0	80	110	80	80	118	108	108	0.26	70	2052	11	50
20:00	31.7	590	84	0	80	110	80	80	118	108	108	0.26	70	2052	11	50
21:00	31.7	590	84	0	80	110	80	80	118	108	108	0.26	70	2052	11	50
22:00	31.7	590	84	0	80	110	80	80	118	110	110	0.26	70	2052	11	50
23:00	31.7	590	84	0	80	110	80	80	118	110	110	0.26	70	2052	11	50

図 6-17 帳票出力画面(例)

出典:JICA 調査団

## (2) ガス検知器

ガス受け入れステーションで、ガス検知器を使用したところ、ストレーナ蓋部他に、多量のガス漏れが確認された。大量のガス漏れは爆発の危険および燃料費増加につながるため、ガス漏れを早期に発見し修理することは安全面でもコスト面でも非常に重要となる。

第2回現地調査では、デモ機として東京ガスエンジニアリングソリューションズ株式会社製のレーザー方式ガス検知器（レーザーメタン miniSA3C32B-NJ）の実演を行った。ガス検知器の使用例を以下に示す。

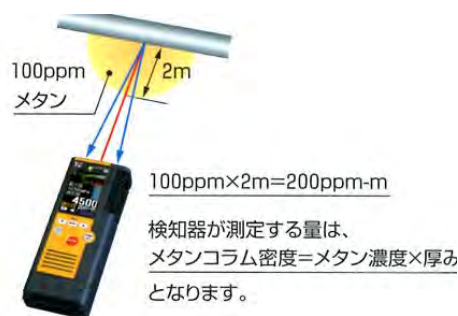


図 6-18 レーザー方式ガス検知器の概要

(出典：<https://www.rex-rental.jp/anz/sa3c32b.html>)

本ガス検知器はレーザー（赤外線）を吸収するメタンの特性を利用して、離れた場所からでもガスの漏えいや滞留を迅速に検知することが可能である。本検知器は、反応部を有しておらず、短周期での校正や手入れが不要であり、ポータブル計器の管理体制が確立されていないミ国内の発電所でも有効と考えられる。なお、本検知器はレーザーの反射を利用してガス量を検知するため、空間への照射による漏洩検知は難しい。

第2回現地調査時のデモでは、ガス検知の重要性、ガス検知器の使用方法、及び検知器の表示値、使用時の注意点について説明し、実際にサイトで各人に使用して頂いた。

## (3) ポータブル機器

現地調査において、不具合により停止した設備が多く見受けられたが、不具合の原因究明も十分に行われていない状態であった。現地計器の定期校正も実施されておらず、計測器も十分に保有していないことも、原因究明が実施できない一因となっている。そのため根本的な対策が実施できず、不具合が再発することが多い。このため、第2回現地調査ではハンディタイプの計測器による不具合の発見・原因究明の有効性を示すため、サーモカメラのデモを実施した。

デモ機としては、フリーシステムズジャパン株式会社の赤外線サーマルカメラアタッチメント「FLIR ONE PRO」を採用した。このデバイスはタブレット端末に接続することで、サーマルカメラとして機能し、タブレット端末の画面上で容易に設備の温度状態の確認およびサーモカメラ画像を撮影することができる。スマートフォンの普及率が高いミ国では導入しやすい製品であるといえる。使用するためにはタブレット端末に専用アプリケーションをダウンロードする必要がある。

ある。サーマルカメラの活用によりガス・蒸気漏れの早期発見や漏れによる他設備への不具合等を防止することができると考えられる。

以下にデモ機の使用例と撮影されたサーマルカメラ画像を示す。

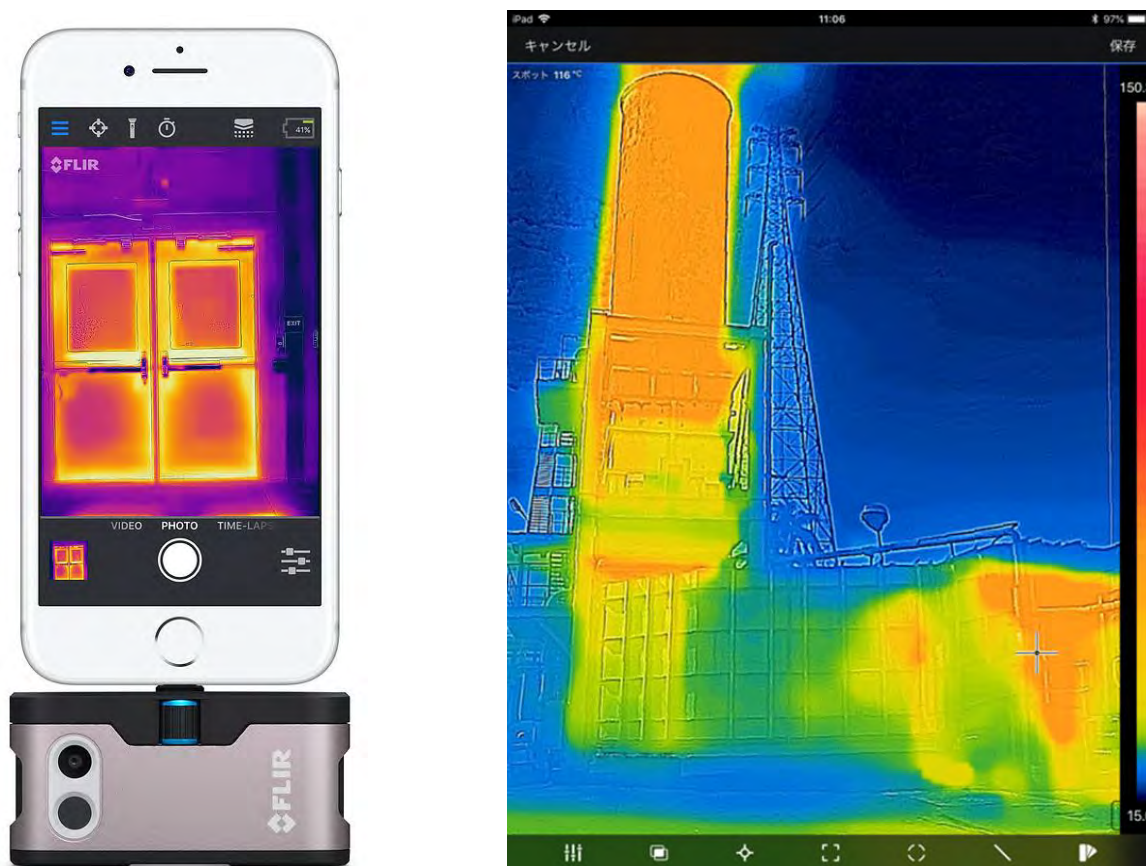


図 6-19 FLIR ONE PRO 使用例およびサーマルカメラ画像

(出典: <https://www.apple.com/jp/shop/product/HL5K2J/A/flir-one-for-ios-personal-thermal-imager>)

第 2 回現地調査時のデモでは、サーマルカメラを用いた機器の点検の有効性、デモ機の使用方法、使用可能範囲、表示値の説明、及び使用時の注意点について説明した。実際にサイト内で機器の温度分布も確認して頂いた。

#### (4) 本邦企業製品導入への課題

上記のとおり、デモ機においては設備管理能力向上および労働生産性向上の観点で十分効果が見込める製品であることが確認できた。発電所員の AI・IoT 機器に関する関心が高く、導入に対して前向きと感じ取れた。ミ国内ではスマートフォンの普及が進んでおり、スマートフォンに関連付けた AI・IoT 製品を紹介したため受け入れられたものと考えられる。特にミ国発電所において、既に本邦製のポータブル計器等の導入実績があり、発電所員からは本邦製品のクオリティの高さから導入を望む声が聞かれた。

一方で、本邦企業製品導入への課題として、まずミ国内に製品の品質を維持できる環境が整って



いないことがあげられる。一般的に品質維持のためには製品の校正や消耗品交換等が必要となるが、ミ国内では必要な機器調整や部品の調達が難しく、またそれらに精通した人材も不在であり製品の機能を維持することが困難である。このことはミ国に限ったことではないが、本邦製品の海外での活用において導入へのハードルとなっている。そのため、メンテナンス不要な製品やユーザにて容易に保守調整可能な製品であれば比較的導入しやすいといえる。

## 第7章 運営・維持管理の改善、及び JICA による協力可能性検討

本章では、2章【発電所の運営維持・管理体制一般事項調査結果】および3章【発電所個別の運転維持・管理体制調査結果】から確認され、5章【運転維持・管理の課題および改善方法】で提案した改善方法であるデジタル・ソフト・ハード・面でのO&MインフラサポートパッケージプログラムであるSolution A, B, C 他の実現方法およびJICAの協力可能性について述べる。

このパッケージプログラムには、6章で記載した本邦技術の活用も想定している。ソリューションとの関連については、表6-2に記載したとおりである。また、Solution Bでは、導入する設備・機器の使用方法や発電所の維持・管理における活用方法を教育項目として組み込むことを想定している。

「1.4 実施体制」に記載したとおり、今回のJICA調査団による事実確認結果も踏まえ、将来の改善へ向けた打ち手をカテゴリ毎に区切ってO&Mの改良を進めていくべきではないかと提言し、EPGEとしても改善に向けた検討を進めていく事を合意している。EPGEと協議した結果、将来、新規発電設備の導入が急速に進展した際にも、EPGEの基幹要員が自律的に発電所を維持・運転できる体制を構築すべく、3つのカテゴリに分類した改善計画を立案することになった。

サポートプログラムの対象（発電所およびEPGE本部）および実現方法の概要を表7-1に示す。

表 7-1 サポートプログラム対象および実現方法

		アロン 発電所	ローカ 発電所	タクタ 発電所	イワマ 発電所	ティラワ 発電所	EPGE 本部	考えられる 実現可能性
<b>Solution A デジタルO&amp;M改良検討</b>								
	デジタルソリューション (含：中小企業技術の活用)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	他プロジェクト 実施時に包含
<b>Solution B ソフトO&amp;M改良検討</b>								
	PDCA O&M管理支援						✓	JICA技術 プロジェクト 等
	O&Mガイドライン・ルール作成支援						✓	
	資産管理改善支援						✓	
	品質管理等、マニュアル作成支援						✓	
	運転員サポート支援			✓				
	教育支援（本邦招聘）		✓					
<b>Solution C ハードO&amp;M改良検討</b>								
短期	損傷箇所復旧のためのメンテナンス、 リハビリテーション	✓	計画済	計画済	✓			JICA円借款/ 海外投融資等
中長期	Rehabilitation Program 長期メンテナンス契約 O&Mサービス事業 等	✓	計画済	計画済	✓	✓		

出典:JICA 調査団

以下の図に各 Solution に含まれる提案の要約を示す。一部に新規性のある構想を含むが、これら新規構想の実施に当たっては、関係者とのより詳細な協議が必要である。

現地5発電所調査を踏まえ、ソフト・ハード・デジタルの3つの切り口からO&M改良提案を考案。			
	A. デジタルO&M改良提案(イメージ)	B. ソフトO&M改良提案(イメージ)	C. ハードO&M改良提案(イメージ)
顧客価値	AI/IoT最新技術を用いたO&M事業の最適化・効率化サポート 【O&Mハードとソフトをつなぐ場】	電力庁のO&Mガイドライン策定支援・将来を担うEPGE本部技術者育成 【O&M理論注入の場】	既設発電所のO&Mインフラの整備 将来を担うEPGE現場エンジニア育成 【O&M実践体験の場】
ミャンマー国・EPGEへの提案の方向性	パイロット導入実績を活用し、EPGEの本部や他発電所への導入展開を検討 ミャンマー国におけるデジタルO&Mインフラ整備に向けた改良展開 	ルール、マニュアル整備、体系的な教育 キャパシティビルディング等策定支援 	既設発電所長期メンテナンス契約やリハビリ込みO&M一括請負事業等を通じた自律型O&Mへのサポート 
支援案	他のインフラプロジェクトとパッケージ提案等を検討	JICA 技術協力プロジェクト等	JICA 円借款/海外投融資等
規模	数億円規模	数億円規模	数十億円規模

図 7-1 Solution イメージ

## 7.1 Solution A [デジタル O&M インフラ改良検討]

### (1) 課題

これまでの分析結果から判明したように、EPGE の中では本部・各発電所とも、アナログでの運転・保守の仕組みとなっており、運転・保守に係るデジタルデータを活用した効果的な運用の仕組みは構築されていない。結果として(1)運転・保守に係る記録データが蓄積されず、(2)過去の実績を踏まえた改良分析がなされておらず、(3)EPGE 職員にも運転・保守に係る知識・ノウハウが伝承されず、(4) 運転・保守に係る改善の文化が浸透せず、(5) 再度同じようなトラブル事例を繰り返しているのではないかと考察する。

### (2) 改善提案

課題を改善するために、今後、運転・保守データを正しく蓄積する基盤を構築し、今回パイロット機材を導入して一定の効果が得られたと考えられる(第4章参照)、以下のような機能を有したデジタルツールを EPGE の本部・各発電所へ順次適用していく事が求められるのではないかと考える。

[デジタルを活用した運転・保守改良支援ツールの導入とミャンマー国での横展開 (案)]

- (1) 日常管理： 経営重要管理指標を常時遠隔で管理・モニタリングできる支援ツール

- (2) 定期保守： 設備や機器の異常を予兆診断・分析し、大きな問題を未然防止するツール
- (3) 異常対応： 問題が発覚した後でも、出来る限り早急に対処できる運転員支援ツール



図 7-2 デジタルソリューションの横展開

出典:JICA 調査団

こういった機能を付与したソリューションを検討していくにあたっては、第6章で記した日本の中小企業における要素毎の本邦技術を組み合わせることで、高い効果を発揮される可能性があると考えられる。

(3) EPGC への説明結果および要望

調査過程における EPGC 幹部との協議においても、「ティラワ発電所だけでなく、他の発電所や EPGC 本部へもデジタルソリューションを適用して欲しい。特に、いつでもどこでも各発電所の経営管理手法(KPI)を確認できるような仕組みを他の発電所においても構築できないか検討して欲しい」との方針が示された。その為、今回、調査団にて各発電所の設置機器、制御装置状況を調査した結果、詳細な検討は必要となるものの、各発電所へ設置・適用出来る可能性がある事が確認でき、その点についても EPGC へ説明実施・了解を得ている。

(4) JICA 協力の可能性

前項記載の課題や EPGC からの要望を踏まえると、EPGC はデジタルソリューション分野へは高い関心を示している。今回の調査で導入した運転・保守改良支援機能を有するパイロット機材については詳細調査が必要であるものの、各発電所に設置できる可能性はあり、EPGC のニーズも確認している

ことから、JICAによる協力の意義は高いと推察される。

加えて、携帯サーモカメラ、ウェアラブルカメラ、タブレット機器といった要素毎に本邦企業(特に中小企業)の有する高度な製品や技術を導入することで、パイロット機材等の遠隔監視装置をより高度に運用することが可能となる。

パイロット機材のような運転・保守改良支援ツールを導入する発電所によって、導入すべき要素毎の本邦技術が異なることから、JICAによる協力を実施する際には対象発電所毎に導入すべき要素技術に関しての詳細調査が必要である。

## 7.2 Solution B [ソフト O&M インフラ改良検討]

### (1) 課題

今までのミ国への支援はハード面でのものになっており、第5章でも述べているように発電所をどのように運営していくかという運転維持・管理の仕組み、教育に関するソフト面での支援が不足している。

### (2) 改善提案

課題を改善するために、ソフト面のO&MインフラパッケージプログラムであるSolution Bを効果的に実施するため、大きく以下の3つのステップに分け実施することを提案する。

第1ステップ：教育支援（本邦研修）

第2ステップ：現地での運転支援（技師派遣）

第3ステップ：O&Mガイドライン、技術基準・マニュアル類の作成、運用支援

	教育支援	運転支援 (現地サポート)	マニュアル 整備支援
内容	国内の教育設備を活用した発電設備運営・維持管理の教育	現地での、国内での教育内容のフォロー及び実務面での教育支援	EPGE単独で効率的、継続的な改善を行っていきける仕組み作りのサポート
	・本邦研修	・現地でのフォローアップ (出張ベース)	・マニュアル整備 ・システム化
目的	・意識改革 ・基礎知識、技能向上	・OJTへの展開 ・実務への展開	・さらなる効率化 ・継続的な改善

出典:JICA 調査団

図 7-3 Solution B 提案項目

まずは、第1ステップとして本邦での研修を通じ、ソフト面の重要性について、意識改革を行うことが重要である。

第2ステップは、第1ステップでの行った意識改革および習得した基礎、専門技術をミ国の各発電

所で展開していくためのフォローアップである。現地へ技術員を派遣し、代表発電所におけるOJTでの教育支援を想定している。

将来的には、EPGEがQMSを構築し、自らPDCAサイクルを回していくことで一層の技術力向上、競争力のある火力運営を行っていくことが望ましい。

これを実現するために、第3ステップとしてEPGEが自ら管理し、技術力、質の向上を行える仕組み(Regulation、O&Mガイドライン、マニュアル類)整備の支援を行うことを想定している。

以下に、Solution Bとして想定している火力設備維持管理に関する項目と、その優先度を示す。発電記録管理、保守計画管理、事故・異常時対応等は、特に急ぎ対応が必要であるが、表7-2に記載している必須項目(全体管理、人材管理等)を合わせて整備しなければ、継続的な維持・向上が図れないと考えている。

表 7-2 Solution B 項目別優先度

項目	優先項目		
	マニュアル整備	教育	システム化
発電所運営・維持管理全般	✓	✓	
人材育成管理	✓	✓	
品質安全管理	✓	✓	
部品調達管理		✓	
文書・記録管理	✓	✓	
発電記録管理	✓	✓	✓
保守計画管理	✓	✓	✓
予備品管理	✓	✓	
事故・異常時対応	✓	✓	✓
環境管理			
入出門管理			
設備補修	✓	✓	

優先度 必須：✓

出典:JICA 調査団

### (3) EPGE への説明結果および要望

第1回調査の中で、ソフト面の教育・技術支援の重要性をEPGE 総裁に説明したところ、総裁もソフト面の重要性を認識されている。

また、現在ミ国において、作成中であるGrid Codeへの助言やO&Mガイドラインの作成への協力にも関心を示していた。

5章に記載したミ国の現状から必要と思われる火力発電設備の維持運営に関する研修項目について、インテリムレポートにてEPGEに報告したところ、火力発電設備の維持管理に関する研修項目については、その必要性や内容を理解頂いた。その上で、ミ国の現状を踏まえて、系統運用に関する教育の

必要性に関し、以下のコメントを頂いている。

- (1) ミ国では、送電容量、IPP との PPA による Must Run、発電予備力の確保等の問題から発電所の経済的運用（最適化）ができていない。発電所優先順位の選定方法や系統運用への技術サポートが必要である。
- (2) DPTSC の系統運用の実態を調査し、様々な制約があることを理解した上で、実態にあった系統運用方法の提案および技術サポートが必要である。

#### (4) JICA 協力の可能性

Solution B は JICA の技術協力プロジェクトが考えられる。

前項に記載した、EPGE からの要望を踏まえ、火力発電設備の維持管理に、5 章で記載した水力発電所のダム運用改善および系統運用の研修を加えた、ミ国の電力事業全体を改善するための技術協力パッケージプログラムおよび、想定スケジュールを表 7-3、図 7-4 に示す。

スケジュールの 8-3 に記載しているマニュアル整備サポートの中で、EPGE 総裁より要望のあった Grid Code、O&M ガイドラインへの作成サポートを EPGE と協議しながら実施することが必要である。

また、スケジュールの 8-3' に記載している Regulation 作成サポートについては、長期的な技術協力プロジェクトとなること、またユーザだけでなくメーカーや学識関係者が一体となって進めていく必要があることから、個別の技術プロジェクトとすることも視野にいれ、ミ国と協議するべきであると考えている。詳細なスケジュールについては、技術協力を行っていく中で、EPGE と密に連携・調整し、ミ国の電力事業に効果的な研修項目を随時取り入れていく必要がある。

火力および水力設備運用においては、本調査で、現地の実態を確認しており、その結果を踏まえて必要な研修項目を選定しているが、系統運用プログラムについては、現地の実態調査が十分ではないため、協力の実施に当たっては実態を調査した上で詳細な協力内容を検討することが必要である。

表 7-3 技術協力パッケージ研修プログラム(案)

火力エンジニア研修
<ul style="list-style-type: none"> <li>・火力発電技術者の人材育成方法</li> <li>・CCGT発電の保守技術 (GT・ST・HRSG・電気・制御システム)</li> <li>・設備診断技術 (非破壊検査・余寿命評価等)</li> <li>・火力発電所の品質管理 (TQM)、効率管理</li> <li>・アクションプラン作成指導</li> <li>・火力発電所及びメーカー工場見学</li> <li>・IoT・AI活用方法指導</li> </ul>
火力テクニシャン研修
<ul style="list-style-type: none"> <li>・品質管理</li> <li>・安全管理 (体感研修)</li> <li>・設備点検保守技術 (配管・弁・電動機・溶接・電気機器・制御機器等)</li> <li>・設備診断技術 (非破壊検査・余寿命評価等)</li> <li>・アクションプラン作成指導</li> <li>・火力発電所及びメーカー工場見学</li> <li>・IoT・AI活用方法指導</li> </ul>
水力研修
<ul style="list-style-type: none"> <li>・水力発電所ダムにおける貯水池運用の方法</li> <li>・気象予測システムを活用したダム流入量の把握方法</li> <li>・水力発電所見学</li> </ul>
系統運用研修
<ul style="list-style-type: none"> <li>・需要予測方法</li> <li>・安定度、周波数制御方法</li> <li>・中央給電指令所見学</li> </ul>

出典:JICA 調査団

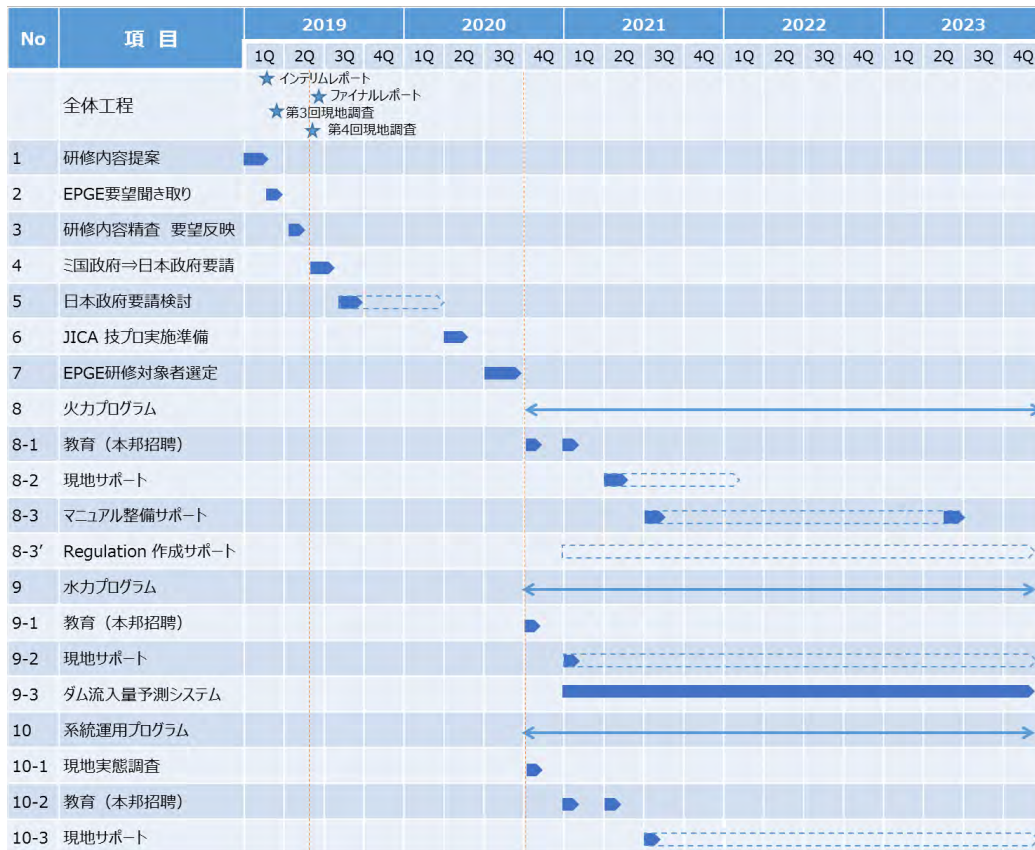


図 7-4 技術協力パッケージプログラム提案スケジュール(案)

出典:JICA 調査団



### 7.3 Solution C [ハード O&M インフラ改良検討]

#### (1) 課題

Solution A, Solution Bにおいて、夫々ソフト面、デジタル面から考察した提案内容を紹介したが、O&M 段階において必ず必要となる交換部品を正しく交換・適用できず、定期的なメンテナンスが実施されていない事により、機器（ハード面）が重大損傷を受け、稼働できなくなってしまうという実情も数多く発見された。

こういった状況に対し、これまでは単純にリハビリテーション等を繰り返して新しい機器へ交換し、暫定的に復旧対応してきた歴史があるが、結局のところ、長期的な O&M の運用面の改善まで踏み込めていない事を理由に、再度機器が壊れてしまうといった再発を繰り返してしまう可能性も否めない。

#### (2) 改善提案

まず、短期視点での改善提案としては、5 章で紹介したような今回調査した各 5 発電所(ローガ/イワマ/ティラワ/アロン/タケタ)において、既に損傷が確認された機器の改良提案を個別に実施してゆき、顕在化している問題に対する暫定復旧対策を進める事が求められる。

一方で、中長期視点では、過去繰り返してきた O&M 起因による稼働時間の低下や性能劣化による燃料費の増加等を解消し、O&M の改善文化を EPGE へ根付かせていく事が求められる。そういった中長期的な EPGE の O&M 戦略の立案にあたっては、将来に亘りどこまで EPGE が内部化して O&M を実行していくか、それとも O&M は他社へ極力外部化し、自分たちで実行していくかという方針が重要となってくる。そういった点を考察する為に、以下図に EPGE の視点から見た O&M に係る契約形態別の特徴を纏めた。

		現状、EPGEが採用している方式	今後のEPGE向けの提案	
		契約スキーム① 部品供給/補修/指導員契約	契約スキーム② 長期メンテナンス包括契約	契約スキーム③ O&Mサービス事業長期契約
契約の特徴	発注 スコープ	必要部品/指導員等、都度設定 (スコープ狭い)	メンテナンス(M)全般のみ	オペレーション(O) & メンテナンス(M)全般 (スコープ広い)
	発注/支払	都度の発注・支払プロセス必要 (複雑化)	一度の契約期間で単価レート固定 (簡素化)	一度の契約期間で単価レート固定 (簡素化)
	予算管理	将来のキャッシュフロー立てにくい (大幅なコスト変動可能性あり)	長期に亘り予算管理が簡素化 (コストは比較的平準化)	長期に亘り予算管理が簡素化 (コストは比較的平準化)
	リスク負担 の考え方	発注者側リスク負担大きい (国営電力会社に多い)		発注者側リスク負担小さい (IPP事業者に多い)
適用 対象	“発注者の” 技術力	自らO&M計画立案/実行できる (技術サポートが不要)	Mの支援が必要 (一部技術サポートが必要)	O&Mの支援が必要 (技術サポートが必要)
	対象発電 所の特徴	トラブルが少ない 高度な運用技術は不要		トラブルが多い 高度な運用技術が必要

図 7-5 契約形態別 O&M サービスの特徴

出典:JICA 調査団

これまで EPGE は、上図の契約スキーム①のように、O&M 起因による問題が発覚する度に必要となる部品や指導員の派遣を都度発注する契約形態を取っていたが、その場合、次のような問題が発生

していた。

[EPGEにおける従来の契約スキーム①での課題]

- 問題発覚後からの部品・指導員の発注検討となり、緊急予算を取得する等、EPGE 内部プロセスに時間を要し、結果、直ぐに復旧する事ができない。
- 中長期的に O&M 提供者と合意した契約単価レートが無く、都度入札を踏む必要があり、契約締結迄に時間を要す。
- 年間予算申請時期に併せた対応が求められ、O&Mに係る予算申請が困難。
- 計画的な O&M が実行されず、その場限りでの対応となる事で、EPGE 職員が育たない。
- 本来は、上図契約スキーム②や③といった長期メンテナンス契約等を経験し、ある程度の O&M 技量を付けた後、上図契約スキーム①を志向する事が、他国での通例だが、現在の EPGE には、基本的な O&M 技量が不足している。

こういった事を解消すべく、上図の契約スキーム②長期メンテナンス包括契約や、契約スキーム③O&M サービス事業長期契約といったように、ある一定期間、メンテナンスやオペレーションの長期契約を結び、O&M の基盤を作っていく事が検討されるべきだと考える。

その過程を踏み、自主・自律的な O&M 事業の基盤が構築できた暁には、EPGE 自ら O&M 事業能力を身に付け、①のように自主・自律的に O&M を対応できるような下地作りが必要だと考える。この事から、以下 2 つの提案を検討すべきだと考える。

提案(1) 「契約スキーム② 長期メンテナンス包括契約の検討」

本来はトラブルの少ない発電所や高度な運用技術を求められない発電所であっても、適切な保守が行われなければ設備の劣化速度が速くなるため、このような発電所に対しては「契約スキーム②長期メンテナンス包括契約」が効果的である。

現在ミ国で最新鋭の発電設備を保有するティラワ発電所(H-25×2 台)においても、既に推奨定期点検の実施タイミングを超過しており、このような運用が続く事で、過去、他の発電所で現実問題となっているような機器損傷による長期停止が再発生する可能性も否めない。

この観点から、既設発電所向けの長期メンテナンス包括契約プログラムを、ハード O&M インフラパッケージの一つとして適用していく事が有益だと考えられる。

具体的な詳細スコープや対象発電所については、EPGE からの要望・聞き取り等を踏まえて、長期包括メンテナンスパッケージを具体検討していくことが必要である。

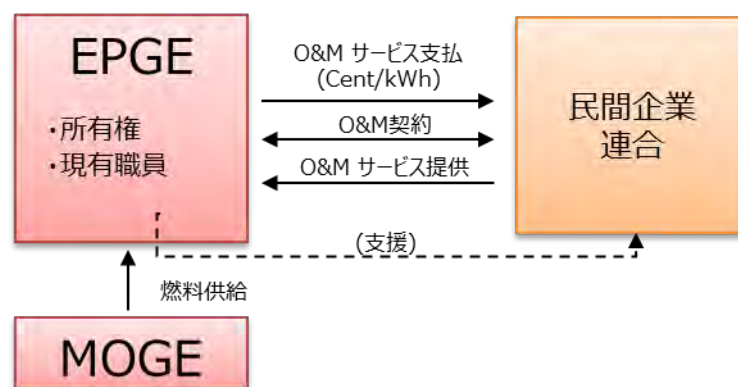
提案(2) 「契約スキーム③ O&M サービス事業長期契約の検討」

トラブルの多い発電所や高度な運用技術を要する設備を有する発電所に対しては、「契約スキーム③ O&M サービス事業長期契約」のように本邦の質の高い O&M サービスを提供しながら、OJT を通じ

た人材育成・能力開発を実施することが最も効果的と考える。そのため、O&M サービス事業長期契約のような長期の視点での人材育成・能力開発がEPGEの自立化促進の第一歩となると推察する。

5章にも記載したように、EPGEが所有する発電設備のO&M事業権を現地ローカル企業が獲得し、EPGEからの支払はCent/kWhで受領し、燃料調達以外の全てのO&M業務を一括担うという契約スキームがミ国で実現した事を聴取した。

この事例を参考事例としつつ、更に日本ならではの価値を加えた提案としてカスタマイズした上で、EPGEのO&Mサービス事業を長期的に一括受諾するような提案を検討する事も、O&M基盤構築の為に、価値があると考えられる。スキームのイメージは次の通りである。



出典:JICA 調査団

図 7-6 O&M 事業長期契約プロジェクトスキームアイデア(仮)

設備改修と高度な O&M を実施するためには、O&M 事業者と機器メーカーが協業して民間企業連合とすることが望ましいと考えられる。民間企業連合については事業会社を設立する方式やコンソーシアムとする方式が考えられる。事業会社を設立する場合は、本体企業へのリスクを限定できるため民間企業の参入障壁が下がるという利点があり、コンソーシアムの場合は早期の事業化が可能であるという利点がある。

本スキームでは、EPGE と上手く連携を取りながら、あくまで土地所有権と EPGE の現有職員の本籍は EPGE に残したままで、O&M 事業を遂行するコンセッション形式に近い形を取る。このアイデアには、次のような利点がある。

- 1) メンテナンスとオペレーションの双方の知見から各種改善が期待できる。
- 2) Solution A や Solution B で記したような、デジタル・ソフト面での改良についても、実際に一定期間共同で運用しながら、EPGE 職員へ技術やノウハウを移植する事ができ、他の O&M 改善施策とのシナジー効果が得られる。
- 3) O&M を民間企業連合と一緒に共同実行する“場”を提供する事により、EPGE で働き将来の基幹要員として活躍が期待される運転・メンテナンスの若いエンジニア育成に貢献できる。
- 4) 将来の新規火力発電所建設需要に見越して、O&M 基盤作りの準備ができる。

他社事例で実績が出たように、EPGE が直接民間企業へ同じような O&M に係る業務を委託発注するというアイデアも十分に実現可能性はあり、より詳細に具体的な Due Diligence、事業性評価等を実施した上で、検討を進めていく必要がある。

### (3) EPGE への説明結果および要望

これまでの調査の過程で、EPGE に対して上述した長期メンテナンス包括パッケージや O&M サービス事業長期パッケージについて EPGE 総裁への説明を実施しているが、非常に高い関心が示されている。当時の EPGE 総裁から以下のようなコメントが得られている。

- 1) これまでミ国では、経済制裁の影響もあり、海外の O&M メーカーと直接連携を密に取り、O&M を実施してきた事例は少なく、我流で O&M を実行してきた取り組んできた経緯があり、O&M に長けた EPGE 要員が不在な事は事実である。
- 2) 一方、ミ国独自で培ってきたやり方があり、日本の O&M は素晴らしいとしながらも、それをミ国側へ移植する為には、一定期間、実際に発電所で作業を共にしてミ国側の実情も把握しながら改善していく事が求められる。その意味で、長期的に O&M を共同実施する仕組みは関心が高い。
- 3) 単なる O&M サポートだけでなく、EPGE のエンジニアを育成するプログラムも含まれる事を望みたい。

### (4) JICA 協力の可能性

Solution C は JICA の円借款や海外投融資を活用することが考えられる。

特に、2019 年 6 月のインフラシステム輸出戦略に記載されているように、部品供給を含む O&M サービス提供のみならず、人材育成や能力構築等への支援策を一つのパッケージとしてミ国へ支援していくことがミ国の自立化促進のために重要であると考えられる。

ハード O&M インフラ改良方策としては複数のスキームが考えられるものの、各発電所により最適なスキームは異なる。そのため、JICA による協力実施段階では対象発電所に合わせた最適スキームの選定が必要となる。

## 第8章 結論と提言

### 8.1 結論

2019年7月にミ国政府は電力料金を値上げ（家庭向けで最大3倍、事業用では80%高）した。それまではミ国の発電セクターは赤字（2018年度EPGE売り上げ、1062B Kyat 赤字 499B Kyat）を補助金で埋め合わせる状況にあり、年間のO&M予算も全ガス火力発電所平均で約0.4kyat/kWh（2010-2015）と非常に少なかった。ミ国のO&M管理体制（仕組み）が適切に構築されていない。米国等による経済制裁の結果、財政や技術習得に影響を及ぼしたと説明するEPGE職員もいる。

このためO&M技術の教育が十分でなく、発電設備の出力、効率が大きく低下している。その結果、燃料費や機器損壊による復旧費が大きくかかり、予算不足となる悪循環となっている。

これらの問題を解決するためには、設備の修繕・新設やメンテナンス部品を供給するようなハード面でのサポートだけでなく、中長期的な人材育成や制度設計を狙ったソフト面におけるサポートを行い、将来、新規発電設備が順に投入されていく際にも、EPGEの基幹要員が自立的にPDCAを回し、継続的に改善しながら発電所を運転・維持管理できるようにすべきである。

### 8.2 提言

重要な改善策については7章に記したが、ミ国の電力事情の改善に繋がりうる、デジタル、ソフト、ハード面での対策提案について、以下の通り総括する。

#### 8.2.1 Solution A

ミ国ではデジタル化が十分でなく（⇒5章）、本部、発電所を一体とした経営管理における改善の余地が多くある。

- (1) 今回のティラワ発電所におけるIoT技術の導入可能性検討のためのパイロット機材の導入結果を踏まえ、EPGE本部、他の発電所全体に展開を進め、効率的に運転・維持管理すべきである。（⇒4章）
- (2) 運転・保守のための巡回を行い、手書きで記録を採取しているが、記録を有効に活用できていない。リアルタイム現地データ収集システムを構築して、タブレット端末から電子データで記録することを推奨する。電子データは、点検インターバルの見直しや不具合発生時の原因分析に有効である。（⇒図6.10）
- (3) 不具合発生時に原因究明、対策立案、対策実施、効果の評価といったQC的な業務フローをせず、経験に基づき原因を推定している。結果、真の要因に対する対策となっておらず、不具合が再発するケースが多い。（⇒3.4.2）このような業務を行う一因として、計測ツールを保有していないため、データに基づく分析ができないことが推定できる。  
計測ツールを含む本邦中小企業の製品は、安価で品質が高く独創的なものが多く、ミ国の発電所のO&M改善に有効と考える。ODAのプロジェクトに含めるなどして、導入することを推奨したい。（⇒6章）

### 8.2.2 Solution B

ミ国において適切な発電所運営を行うためには、O&Mに関する教育が必要（⇒5章）であり、意識改革を含めて本邦研修による教育、技術移転を早期に行うべきである。

- (1) 火力・水力発電設備維持運用の教育だけでなく、給電運用に関する教育を合わせて行う技術協力パッケージ研修（⇒7.2）を提案したい。限られた国産ガスを効率の良い発電機に優先的に配分したり、ダムの水位を適切に管理しながら、全体最適化を図れる等、発電事業の全体最適化も期待できる。
- (2) 人材育成状況は管理されておらず、職場の上席者のOJTに依存しているため、各所員のスキルレベルやトレーニングの受講履歴を管理するデータベース（人材育成管理システム）を構築すべきである。（⇒5.4.1）
- (3) 重要な記録や設計データの紛失がみられるため、発電所、EPGE本部、MOEEでは文書管理システムを導入し、保管、検索、取り出しを効率的に行うべきである。（⇒5.4.2）
- (4) 予備品の保管状況は手書きの帳票にて管理されているものの、仕様が合わない、寿命に到達している等の理由により、利用できないものがある。同機種を使用している他の発電所とも予備品を共有しているが、効率的に管理されていない。予備品管理システムを導入し、仕様や寿命、補修履歴などを含め管理し、他所やEPGE本部でも閲覧できるようにすべきである。（⇒5.4.4）
- (5) 水力発電所では、雨季にダムの水位が満水に達し、オーバーフローしている。降雨量・流入量予測システムを導入して、ダムを有効活用することが望ましい。（⇒5.7）
- (6) 電力法で定めることを規定しているRegulationや技術基準等が策定されていないため、ミ国の実情に即して策定することを推奨する。（⇒2.1及び8.2.2）
- (7) EPGE本部、発電所での業務の全般に渡り、ルールやマニュアルが成文化されておらず、多くが慣例や上位からのレターによる指示で業務が遂行されている。ルールやマニュアルを制定し、PDCAサイクルを回して継続的な品質改善を行うべきである。（⇒7.2）
- (8) 電力法で定める訓練センターはネピドーに保有するものの、火力に関する訓練センターは十分に整備されておらず、拡充が望ましい。（⇒2.1）
- (9) 技術伝承はOJTにより行われており、発電所員はシステムチックな教育を受けることが出来ない。EPGE大で教育制度を構築し、効率的なトレーニングを提供する必要がある。

### 8.2.3 Solution C

ミ国の設備では保守が十分でない（⇒5章）ため、設備が劣化し、出力、効率が大きく低下している。現在、計画されているリハビリ工事に合わせて、確認された不具合設備の補修を行うことを推奨する。

- (1) リハビリや長期保修契約による設備改善は、環境に大きな影響を与えることなく、早期に低コストで電力を得る手段となる可能性がある。今後も積極的に検討すべきである（⇒7章）

#### 8.2.4 その他

本調査で気づいた発電設備のO&Mに間接的に関連する提案は以下の通り。

- (1) 発電所の計画外停止要因を調査したところ、送電系統からの要因によるトラブルが非常に多い。この傾向は 230kV 送電線に発電機が接続されている発電所に比べ、33kV 系統に発電機が接続されている発電所が顕著である。後者の発電所では、近隣の需要家に発電所から直接供給しており、系統上の制約により停止が困難でミ国全体でみた場合、経済的に最適運用されていない可能性が高い。発電機を接続する系統について改善し、ボトルネックを解消する必要がある。(⇒図 3-16、表 3-1)
- (2) SCADA システムの導入がされているものの、未設置の設備が見受けられるため、給電指令所から全設備を一括管理できない。未設置個所に導入を進める必要がある。
- (3) ミ国内においてガバナフリー運転をしている発電所は、バルーチャン水力のみである。Take or Pay 条項を持つ IPP の導入進められており、柔軟な負荷調整をできるユニットも限られている。系統要因による発電所の計画外停止を減らすためにも、全体を見据えた電力開発計画を策定することを推奨したい。