

テクノロジーマップの整備に向けた調査研究
(アナログ規制の見直しに向けた技術実証等) における技術実証

技術実証報告書

実証類型番号 5 :

IoT、センサー等を活用した設備の作動状況の定期点検の実証

株式会社モルフォ AI ソリューションズ

2024 年 2 月 16 日

目次

1	技術実証の概要	3
1.1	目的	3
1.2	対象業務（法令）	3
1.3	全体像	3
1.3.1	技術実証の全体像	3
1.4	実施体制・期間	4
1.4.1	実施体制	4
1.4.2	実施期間	5
2	技術実証内容の詳細	6
2.1	技術実証の方法	6
2.1.1	実施項目①：三脚で固定したカメラでアナログ計器を撮影	6
2.1.2	実施項目②：撮影した映像をクラウドサーバ経由で確認	7
2.1.3	実施項目③：AIによる指示値の読取りと遠隔での確認	8
2.1.4	実施項目④：異常値を検知した場合のアラート発報	10
2.1.5	実証対象のアナログ計器について	11
2.1.6	活用技術について	12
2.1.7	システム構成	15
2.1.8	機材	16
2.1.9	ソフトウェア	18
2.1.10	開発期間	18
2.2	実施場所等	19
2.3	実施条件等	22
3	技術実証の結果	23
3.1	結果の評価ポイント・方法	23
3.1.1	評価方法	23
3.2	結果及び評価・分析	27
3.2.1	実施結果詳細	27
3.2.2	結果分析	34
3.2.3	課題整理	38
3.2.4	総括	42
4	用語集	44

1 技術実証の概要

1.1 目的

ガスや電気の製造・発電に係る施設・設備や船における災害・事故の防止等を目的として、事業者や保安機関が実施している製造施設・設備等の作動状況や異常の有無の定期点検等について、IoT やセンサー、通信機器等のデジタル技術を活用して、施設・設備等の動作異常を検知可能とすることで、点検周期の延長等、規制のあり方を検討することとされている。

本実証においては、現在、大分県企業局が実施している水力発電所の定期点検等について、デジタル技術を活用することで職員が行っている点検作業の一部を代替し、当該規制の趣旨・目的が達成可能か実証する。

1.2 対象業務（法令）

本実証の対象業務（法令）を以下に示す。

大分県企業局事業用電気工作物（電気事業）保安規程第 11 条及び第 12 条に係る電気工作物の巡視

1.3 全体像

1.3.1 技術実証の全体像

大分県企業局が実施している水力発電所の巡視点検業務では、各発電所に職員が出向き、主に 2 名で発電所内を巡視して、異常・損傷の有無や動作の良否などの点検および計器の読取りを行っている。発電所内を巡視する際は 1 名が計器の値を読み取り、もう 1 名が値を紙面の巡視簿に記入している。巡視簿に記入された情報は PC にデータとして入力されている。これらの作業をデジタル技術により代替できるかを検証するために、次の事項を実証する。

実証事項：

- (1) IoT、センサー、モバイル端末、ドローン、カメラ又はレーザー等を活用して、設備の動作異常の検知に資する情報を収集する。
- (2) (1)で得られたデータから、画像解析や AI による解析等によって設備の動作異常を検知する。

上記の実証事項を踏まえ、具体的な実施項目を下記の①～④に整理して実証した。なお、実証の全体像を図 1 に示す。

実施項目：

- ① 三脚で固定したカメラでアナログ計器を撮影
- ② 撮影した映像をクラウドサーバ[用語 2]経由で確認
- ③ AI による指示値の読み取りと遠隔での確認

④ 異常値を検知した場合のアラート発報

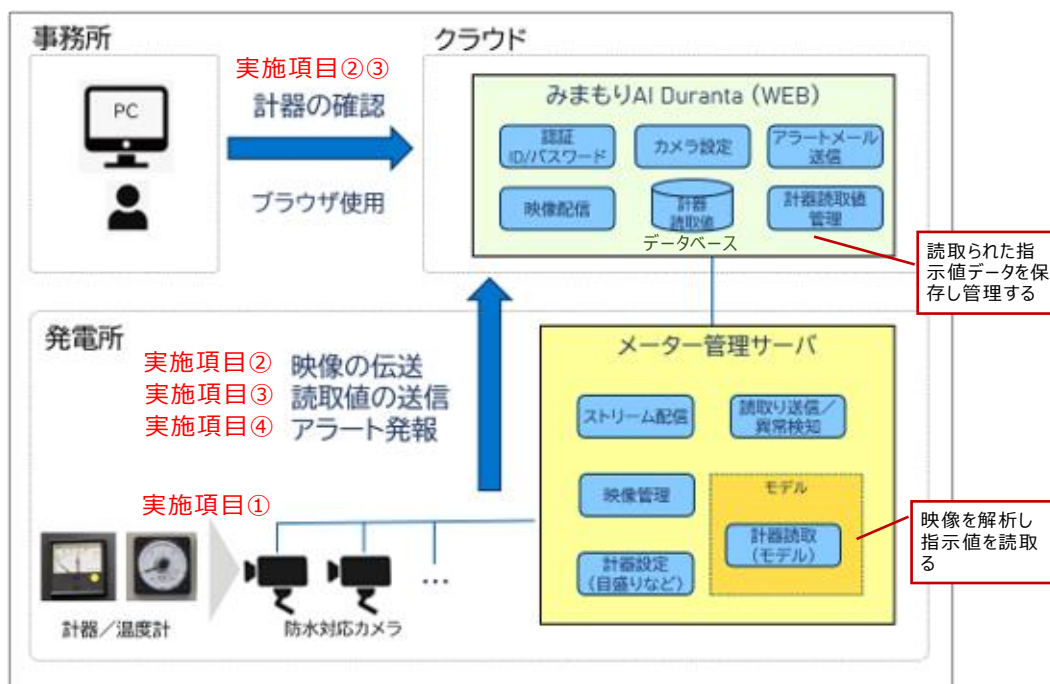


図 1 技術実証の全体像

1.4 実施体制・期間

1.4.1 実施体制

本実証の実施体制を表 1 に示す。

表 1 実施体制

事業者名	実施業務・役割
株式会社モルフォ AI ソリューションズ	<ul style="list-style-type: none"> • 実証事業の計画策定と運営 • 全体取りまとめ • ソフトウェア開発 • 実証実験の実施
Top Data Science Oy (モルフォ AI ソリューションズからの再委託先)	<ul style="list-style-type: none"> • アナログメータ読取知見の提供 • 画像処理・AI 開発
株式会社アプリズム (モルフォ AI ソリューションズからの再委託先)	<ul style="list-style-type: none"> • プロジェクト推進支援
株式会社 HUBLLET (モルフォ AI ソリューションズからの再委託先)	<ul style="list-style-type: none"> • カメラの設置や有線・無線 LAN 環境の設定を含む実証実験環境の構築

1.4.2 実施期間

本実証の実施期間は2023年10月26日から2024年2月16日である。
具体的な開発期間や実証期間を2.1.10に記載する。

2 技術実証内容の詳細

2.1 技術実証の方法

本実証の実施項目について詳細内容を記載する。なお、以下の内容については、事前に大分県企業局と合意したものである。

2.1.1 実施項目①：三脚で固定したカメラでアナログ計器を撮影

実施項目①について、実運用を想定し(1)固定カメラで長時間¹撮影する方法と、多くのアナログ計器を検証するために(2)三脚に固定したカメラを移動させながら撮影する方法の2通りの方法を実証した。対象とした全てのアナログ計器に対し常設する必要台数のカメラを調達することが時間的に困難であったため、多くのアナログ計器で検証する方法として(2)の撮影方法を検討し、大分県企業局と調整し合意した。アナログ計器は、丸型計器、角型計器、棒状油面計、棒状計器（ポインタ型）を対象とする。夜間や外光が届きづらい場所で室内照明を消すと計器が見えなくなることから、補助照明として LED 照明器を三脚に固定して設置し、撮影している間、LED 照明は常にオンの状態とする。撮影の様子を図 2 に示す。

(1) 固定カメラで長時間撮影

各発電所に固定カメラを2台ずつ、合計4台を設置し、アナログ計器を長時間撮影する。

作業詳細：

- 固定カメラは、下赤発電所に2台、北川発電所に2台設置する
- アナログ計器の針の色、文字盤の色、目盛の座標位置とその値をシステム²に登録する
- 明るさ（照度・ルクス）や撮影アングル（角度）の情報を記録として残す
- 期間中は止めることなくアナログ計器の撮影を継続する

(2) 撮影場所を移動しながら様々なアナログ計器を撮影

アナログ計器の前に三脚に固定したカメラを設置し、対象のアナログ計器の撮影が終わり次第、別のアナログ計器を順次撮影する。撮影は2班体制とし、実証対象のアナログ計器に対し行う。

作業詳細：

- 巡視業務の妨げにならないよう、人の移動ルート（動線）を避けてアナログ計器の前に固定カメラを設置する
- アナログ計器の針の色、文字盤の色、目盛の座標位置とその値をシステムに登録する
- 明るさ（照度・ルクス）や撮影アングル（角度）の情報を記録として残す
- 屋外のアナログ計器に対し、水滴を付けた状態で撮影する（1計器を想定）
- テスト項目を実施したら、次のアナログ計器の場所へ移動する

¹ 実証実験を行う2日間連続で撮影する。

² みまもり AI Duranta を含むシステムの構成は 2.1.7 を参照すること。



図 2 撮影の様子

2.1.2 実施項目②：撮影した映像をクラウドサーバ経由で確認

実施項目①で撮影したライブ映像を、(1)クラウド[用語 1]を通じて遠隔地の PC で映像・画像を確認する。また、アラート発報時に計器映像を目視するために(2)過去に録画した映像を遠隔地の PC で確認する。夜間や外光が届きづらい場所で室内照明を消すとアナログ計器が見えなくなることから、補助照明として LED 照明器を三脚に固定して設置し、撮影している間、LED 照明は常にオンの状態とする。撮影した映像をクラウドサーバ経由で遠隔地に配信するためのネットワーク構成に関する説明は 2.1.7 に記載する。

(1) ライブ映像の確認

撮影している映像（アナログ計器）をリアルタイムで配信し、遠隔の PC で確認する（図 5 を参照）。撮影は、屋内の照明を点けた状態と消した状態とで実施する。

作業詳細：

- 映像を画像解析し、モデル[用語 3]による指示値の読取り値（モデル読取値と略す）をシステムに保存する
- 映像を遠隔地の PC で確認し、アナログ計器の指示値を計測・記録する
- 固定カメラの脇に、時刻を合わせた時計を設置・撮影し、遠隔地 PC の映像と手元の時計で映像遅延を計測する
- 屋内照明オン・LED 照明オンの状態で撮影した映像を遠隔地の PC で閲覧し、指示値を視認できるかを確認する
- 屋内の照明が消えることを想定し、屋内照明オフ・LED 照明オンの状態で撮影した映像を遠隔地の PC で閲覧し、指示値を視認できるかを確認する
- 水滴を付けた³アナログ計器を撮影した映像を遠隔地の PC で閲覧し、指示値を視認できるかを確認する（図 3）

³ 霧吹きで定期的に水を噴射し、アナログ計器のガラス面に水滴を付けた。



図 3 水滴を付けたアナログ計器

(2) 録画映像の確認

録画したアナログ計器の過去映像を遠隔地の PC で再生し確認する。また、ダウンロードした動画を確認する。

作業詳細：

- 録画したアナログ計器の過去映像を遠隔地の PC で再生し、指示値を視認できるかを確認する
- 録画した映像を動画ファイル⁴としてダウンロードできることを確認する
- ダウンロードした動画ファイルを再生し、指示値を視認できるかを確認する

2.1.3 実施項目③：AI による指示値の読取りと遠隔での確認

実施項目①で撮影している映像をメータ管理サーバで解析し、(1)モデル読取値をクラウド経由で遠隔地の PC で確認する。また、(2)過去に録画した映像におけるモデル読取値を遠隔地の PC で確認する。

(1) ライブ映像とモデル読取値を確認

遠隔地の PC でライブ映像表示画面（図 5）を表示し、モデル読取値を確認する。

作業詳細：

- 画面に表示されるモデル読取値を計測記録表（図 4）に記録する
- 現地での目視による計測値とモデル読取値の誤差を算出し、計測記録表に記録する

#	計器	単位	種類	※読み取るべき針の色				角度	距離 (cm)	作業時刻	現地目視
				針の色	上値下値	照明	照度				指示値 (現地)
1	a-③	kV	丸型	黒							
2	a-③	kV	丸型	黒							
3	a-⑦	A	丸型	黒							
4	a-⑦	A	丸型	黒							
5	g-②	A	角型(HL)	黒	上値						
6	g-②	A	角型(HL)	黒	下値						
7	g-②	A	角型(HL)	黒	上値						
8	g-②	A	角型(HL)	黒	下値						

図 4 計測記録表（一部抜粋）

⁴ ダウンロードした動画とブラウザで再生される動画の解像度は同じである。



図 5 ライブ映像確認画面

(2) 録画映像とモデル読取値を確認

遠隔地の PC で録画映像確認画面（図 6）を表示し、モデル読取値を確認する。

作業詳細：

- カメラ名と日時を入力し、録画映像を表示する
- 画面に表示されるモデル読取値を確認する

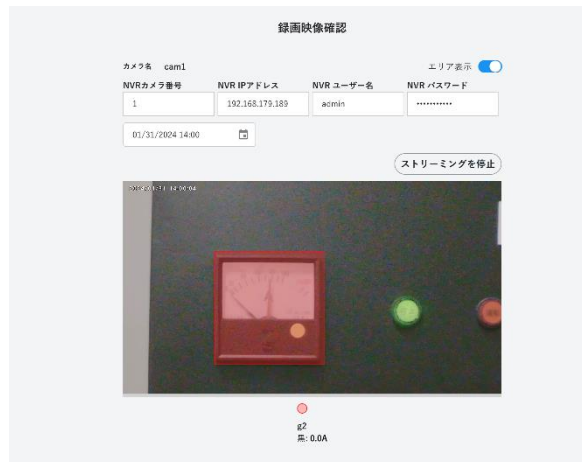


図 6 録画映像確認画面

(3) 出力データでモデル読取値を確認

システムから出力した CSV ファイルでモデル読取値を確認する。

作業詳細：

- システムのデータ出力画面でアナログ計器と期間を指定し、CSV ファイルを出力する（図 7）
- 圧油ポンプ電流等の H・L 値管理が必要な項目については上値／下値を確認する
- CSV ファイルに出力されたモデル読取値と録画映像のモデル読取値を比較し、差がないことを確認する

日付	時間	サーバー名	カメラ名	メーター名	メーター種別	計測値名	値の計測形式	計測値	値の単位
2024/1/31	14:08:58	kitagawa	cam6	h-2	liquid_level	赤油面		2.39	°C
2024/1/31	14:07:57	kitagawa	cam6	h-2	liquid_level	赤油面		2.4	°C
2024/1/31	14:06:58	kitagawa	cam6	h-2	liquid_level	赤油面		2.6	°C
2024/1/31	14:05:58	kitagawa	cam6	h-2	liquid_level	赤油面		2.6	°C
2024/1/31	14:04:59	kitagawa	cam6	h-2	liquid_level	赤油面		2.6	°C
2024/1/31	13:54:15	kitagawa	cam3	v-1	indicator_level	赤ポイント		58.3	mm
2024/1/31	13:53:45	kitagawa	cam3	v-1	indicator_level	赤ポイント		58.3	mm
2024/1/31	13:52:58	kitagawa	cam3	v-1	indicator_level	赤ポイント		-7.5	mm
2024/1/31	13:51:59	kitagawa	cam3	v-1	indicator_level	赤ポイント		-7.5	mm
2024/1/31	13:50:57	kitagawa	cam3	v-1	indicator_level	赤ポイント		-7.5	mm
2024/1/31	13:49:57	kitagawa	cam3	v-1	indicator_level	赤ポイント		-7.5	mm
2024/1/31	13:48:57	kitagawa	cam3	v-1	indicator_level	赤ポイント		-7.5	mm
2024/1/31	13:47:58	kitagawa	cam3	v-1	indicator_level	赤ポイント		-7.5	mm
2024/1/31	13:46:59	kitagawa	cam3	v-1	indicator_level	赤ポイント		-7.5	mm
2024/1/31	13:45:57	kitagawa	cam3	v-1	indicator_level	赤ポイント		-7.5	mm
2024/1/31	13:44:58	kitagawa	cam3	v-1	indicator_level	赤ポイント		-7.5	mm
2024/1/31	13:43:59	kitagawa	cam3	v-1	indicator_level	赤ポイント		-7.5	mm
2024/1/31	13:42:57	kitagawa	cam3	v-1	indicator_level	赤ポイント		-7.5	mm
2024/1/31	13:41:57	kitagawa	cam3	v-1	indicator_level	赤ポイント		-7.5	mm
2024/1/31	13:40:59	kitagawa	cam3	v-1	indicator_level	赤ポイント		-7.5	mm

図 7 出力された CSV ファイルの例

2.1.4 実施項目④：異常値を検知した場合のアラート発報

アナログ計器に対し異常値（北川発電所の場合、検証対象の計器に 5kV 等。詳細は 3.2.2 に記載）を模擬入力し、警報値を超えるような状態を設定する。システムはその異常を検知し、アラートメールを送信する。メール受信者はメールでアラート発報の内容を確認し（図 8 参照）、当該アナログ計器の映像を遠隔地の PC で確認する。

作業詳細：

- 当該アナログ計器の警報値をシステムに設定する
- 発報時のメール受信者を登録する
- 社内の検証環境では(1)アナログ計器に対し警報値を超える値を模擬入力し、本検証における北川発電所では(2)運転が開始され、当該アナログ計器の指示値が警報値を超えるまで待機する
- 受信メールを開き、発報の内容を確認する
- 発報時のアナログ計器の映像を PC で確認する
- 発報時のモデル読取値を確認し、メールの内容と一致していることを確認する



図 8 アラート発報メールの例

2.1.5 実証対象のアナログ計器について

本実証の対象規程（大分県企業局事業用電気工作物（電気事業）保安規程第 11 条及び第 12 条に係る電気工作物の巡視）をもとに大分県企業局と協議し、実証対象として表 2 のアナログ計器を選定した。

表 2 実証対象のアナログ計器種別と計器数

種別	計器数	内訳（場所・個数）
丸型計器	27 器	下赤:21 器 北川:6 器
角型計器	8 器	下赤:5 器 北川:3 器
棒状油面／温度計	4 器	下赤:1 器 北川:3 器
棒状計器（ポインタ型）	2 器	北川:2 器

実証対象としたアナログ計器の一部を図 9 と図 10 に示す。



図 9 実証対象のアナログ計器
 (左：下赤発電所の丸型計器、右：北川発電所の角型計器)



図 10 実証対象の棒状計器
 (左：棒状油面計、右：棒状計器 (ポインタ型))

2.1.6 活用技術について

(1) みまもり AI Duranta

モルフォ AI ソリューションズ開発の AI カメラアプリ「みまもり AI Duranta」システム (図 11) は、施設内に設置された監視カメラの映像を解析し、人の転倒や禁止エリア内への侵入など様々な問題事象を自動で検知することができる。当システムは現地の映像をリアルタイムで閲覧できる機能や AI による画像解析機能を備えていることから、本実証に活用した。

なお、本実証で活用するにあたり、発電所がある場所は移動体通信 (4G) の電波が弱いため、低速な通信路においても安定的に映像を伝送できるよう改良したほか、現地発電所内にオンプレサーバを設置し、仮にオフライン状態になったとしても継続してアナログ計器を読み取れるように開発した。また、アナログ計器向けにカメラ登録画面や計器の閾値設定画面を追加した。



図 11 AI カメラアプリ「みまもり AI Duranta」

(2) アナログ計器の読取り技術

アナログ計器の読取りには、Top Data Science 社（表 3 参照）が開発し保有している「アナログ計器読取技術」を採用した。機械学習技術と画像処理技術によって実装しており、丸型の計器読取りに対応している。本実証で棒状計器や油面計の読取りにも対応可能とするための開発を行ったほか、斜めから撮影されたアナログ計器の映像でも正確に針を読み取れるようにするなど精度向上を図った。

以下、今回開発した各手法の概要を記載する。

(ア) 丸型計器

発電機の出力（MW）や電圧（kV）をはじめとする数量を計測する目的で使用され、下赤発電所と北川発電所で最も採用されているアナログ計器の形体である。各針はアナログ計器の中央を軸として針が動作する。複数の針が設置されている場合、それぞれの針は色によって見分けることができる。処理は、斜めから撮影された画像の歪みを補正する前処理と、補正済み画像から値を読み取る本処理に分けられる。前処理として、アナログ計器周囲を囲む 4 点座標、もしくは楕円座標およびアナログ計器のアスペクト比の値で計算し、歪み補正を行っている。歪み補正後の結果イメージを図 12 に示す。



図 12 入力画像（左）と前処理後（右）の結果イメージ

前処理後は、目盛の最小値、最大値、および最低一つの間中値をシステムに入力する。目盛が不均一になっているアナログ計器があるが、その際はできるだけ細かく中間値を入力する必要がある。また、盤面の色および針の色をシステムに入力する。針が複数存在する際は複数の針の色情報を指定することでそれぞれを検出することが可能となる。

(イ) 角型計器

主に補機制御盤の電流（A）などを計測するために使用されるアナログ計器である。角型計器は盤面の形状が異なるだけで、針が回転動作するという点においては丸型計器と同一の構造をしている。そのためアルゴリズム自体は同一のものとなっている。

(ウ) 棒状油面計

液面の高さを計測する目的で使用される。処理は、丸型計器と同様に前処理と本処理に分けられる。前処理では液面を囲む角度付き矩形を受け取り、補正済みの液面領域を出力する（図 13 を参照）。液面領域を検知するため、液体の色を予めシステムに入力しておく必要がある。

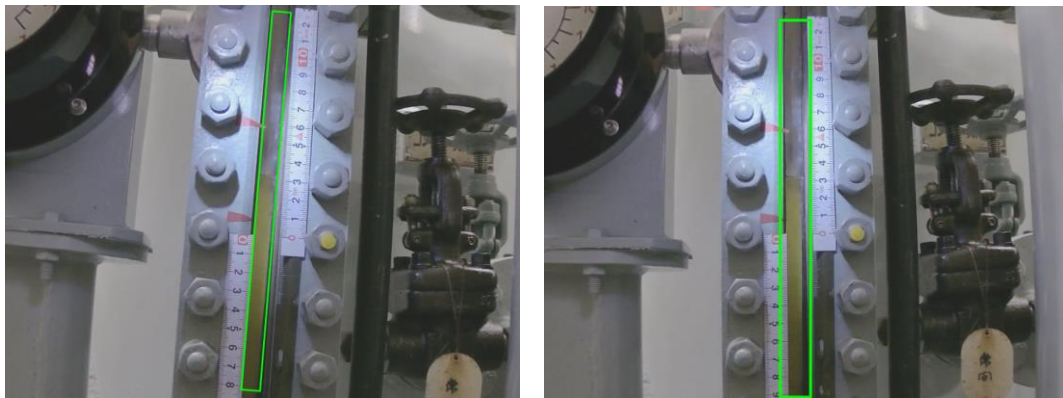


図 13 入力画像（左）と前処理後の画像（右）の結果イメージ

(工) 棒状計器（ポインタ型）

液面の高さを計測する目的で使用され、ポインタが液面の位置に連動し、上下するアナログ計器である。これは通常の油面計とは異なり液面を直接見ることを行わないという特徴がある。そのため、液面の色情報を使用して読み取りを行った（ウ）の棒状油面計とは異なるアルゴリズムの開発が必要である。前処理のために、油面計と同様にポインタの可動域を囲む角度付き矩形（図 14 の緑色）をシステムに入力する。また、ポインタを示す矩形（図 14 の水色）も入力する。

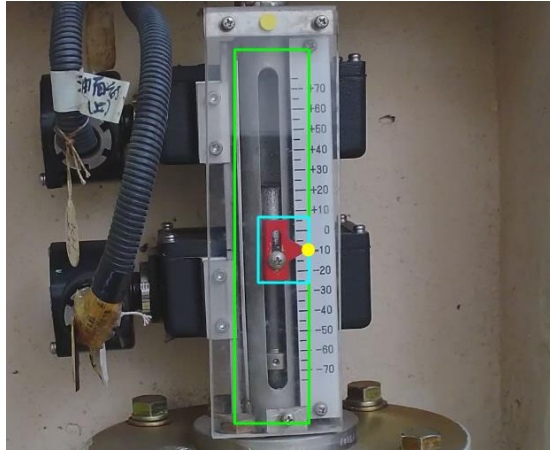


図 14 可動域と角度付き矩形の指定のイメージ

本読取り技術を提供している Top Data Science 社はフィンランドに拠点を置くデータサイエンスおよびソフトウェアエンジニアリング企業である。AI（人工知能）、コンピュータビジョン、データアナリティクスの研究開発を中心に行っており、様々な業界へソリューションを展開している。

表 3 Top Data Science 企業情報

所在地	Kuortaneenkatu 2, FI-00510 Helsinki, Finland
代表者	平井駿
設立	2016 年 4 月 21 日
ホームページ	https://topdatascience.com

2.1.7 システム構成

本実証のシステム構成を図 15 に示す。

発電所内のネットワーク（LAN）は、同一構成で下赤発電所と北川発電所で構築した。カメラはネットワーク対応型であり、PoE で給電される。クラウドへの通信障害が発生したとしても、メータ管理サーバ（オンプレサーバ）を設置することでデータ喪失するリスクを軽減した。現地視察の結果、携帯キャリアが提供する移動体通信網によるデータ通信が可能であることを確認できたためこの構成を採用した。

カメラで撮影される映像は、NVR（ビデオレコーダ）とメータ管理サーバに送られる。NVR では、映像が動画として保存される。メータ管理サーバでは映像を画像処理し、Top Data Science 社のアナログ計器読取技術を用いた AI モデルによって針が指す指示値を読み取る。アナログ計器を遠隔で確認する際、読み取られるデータと映像はクラウドサーバを経由して、遠隔地の PC へほぼリアルタイムで配信される。みまもり AI Duranta の主な機能は、モデル読取值等のデータの保管、映像の配信、アラートメールの送信であり、みまもり AI Duranta へのアクセスは HTTPS[用語 4]によって暗号化される。以下では、本実証において構築したシステムを「本システム」と記載する。

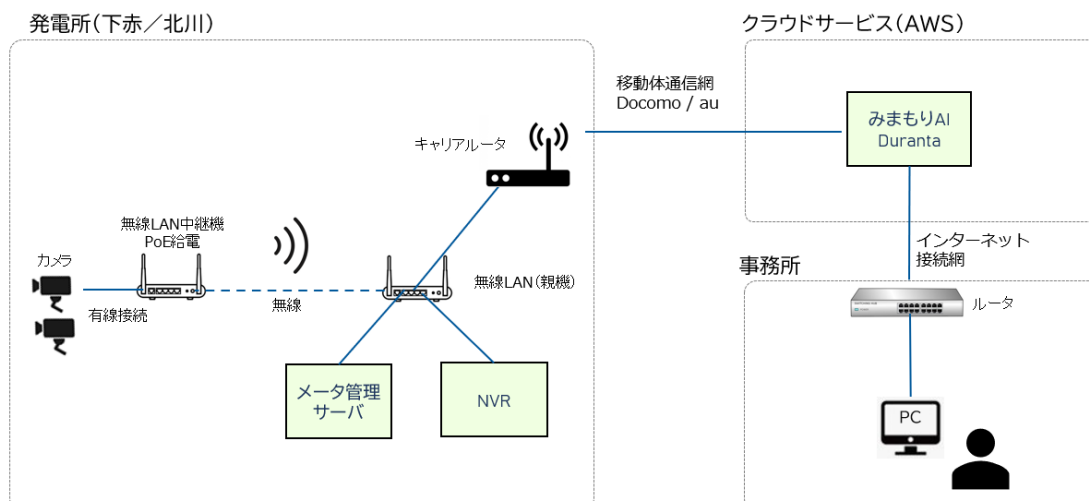


図 15 ネットワーク構成

2.1.8 機材

本実証に使用した機材を表 4 に示す。カメラには国内トップシェアの i-PRO 社の製品を採用した。現地での実証実験では、発電所における環境面のリスク（浸水、粉塵等）に備えるため、PoE ハブは IP66[用語 5]対応ボックスに入れて使用した⁵。

表 4 使用機材

機材名称	型式
カメラ	i-PRO 社製 WV-U2542LA (図 16、表 5)
PC (メータ管理サーバ)	インテル® Core™ i9 プロセッサer ハイスペックゲーミングモデル
PoE ハブ	Panasonic FA-ML4TPoE+
無線中継機	cnPilot E500
ルータ (キャリア)	HOME 5G HR01 (ドコモ) HOME 5G L12 (au)

⁵ 防塵防水規格に対応した製品は高価で、選択肢が少なかったため、IP66 に対応したボックスの中に設置することにより対応した。



図 16 使用カメラ : WV-U2542LA

表 5 カメラ仕様

項目	仕様
屋内/屋外	屋外対応
電源	PoE (IEEE802.3af 準拠)
使用環境	使用温度範囲 : -30 °C~+50 °C (電源投入時 : -20 °C~+50 °C) 使用湿度範囲 : 10 %~100 % (結露しないこと)
防水性	IP66
有効画素数	約 520 万画素
ダイナミックレンジ	最大 102 dB (スーパーダイナミック On、レベル 31)
ズーム比	光学ズーム : 2.5 倍 EX ズーム : 最大 10 倍 (2.5 倍~3.3 倍 : 画像解像度 1920×1080 時) , (2.5 倍~10 倍 : 画像解像度 640×360 時)
ネットワーク	10BASE-T / 100BASE-TX、RJ45 コネクター
画像圧縮方式	H.265/H.264、JPEG (MJPEG)
画像解像度	【16 : 9】2688×1520 / 2560×1440 / 1920×1080 / 640×360 / 320×180

使用した PoE ハブと無線中継機を図 17 に示す。



図 17 使用機材（左：PoE ハブ、右：無線中継機）

2.1.9 ソフトウェア

本実証に使用したソフトウェアを表 6 に示す。いずれもオープンソースであり、インターネットから入手可能である。

表 6 使用ソフトウェア

分類	名称
オペレーティングシステム	Ubuntu
プログラミング言語／ランタイム	Python
画像処理ライブラリ	OpenCV

2.1.10 開発期間

開発のスケジュールを図 18 に示す。11 月～12 月末まで本実証に用いるみまもり AI Duranta の開発・改修を行い、またアナログ計器読取のための AI モデルの開発・改良を行った。翌 1 月より結合試験を行った。

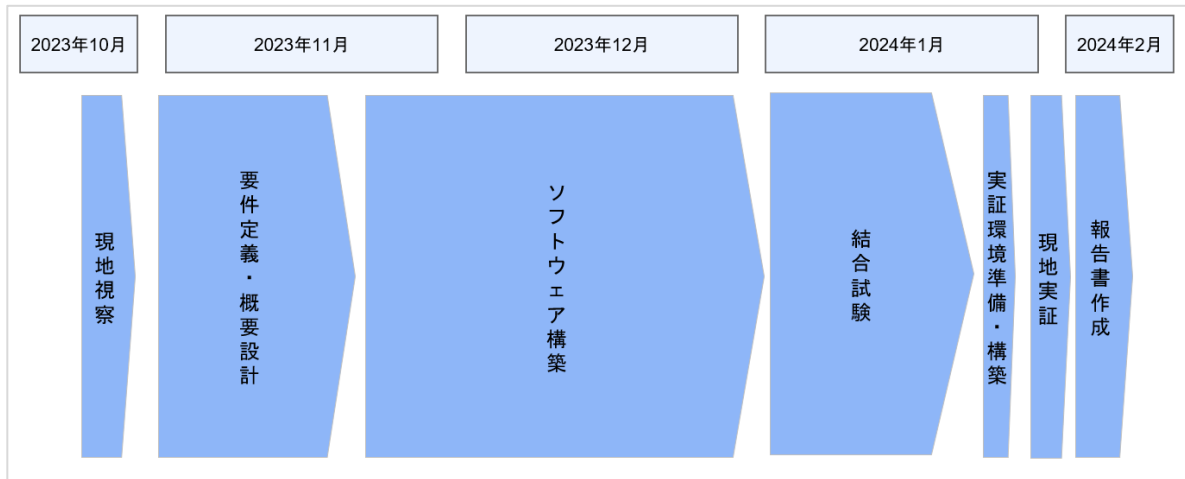


図 18 開発スケジュール

2.2 実施場所等

本実証では、大分県所管の下赤発電所（表 7）および北川発電所（表 8）で実際の点検対象となる各種アナログ計器を対象に、現行の巡視点検作業を代替できるかを検証した。

表 7 下赤発電所情報


発電所名	下赤発電所（しもあか）	
所在地	宮崎県延岡市北川町川内名	
水系・河川名	五ヶ瀬川水系北川	
発電方式	ダム式	
最大出力	1,700 kW	
最大使用水量	20.0 m ³ /s	
有効落差	10.65 m	
水車形式	横軸円筒可動羽根プロペラ	
最大出力	1,840 kW（1台）	
発電機形式	三相交流同期	
発電開始日	昭和 37 年 7 月 21 日	

表 8 北川発電所情報

発電所名	北川発電所（きたがわ）	
所在地	宮崎県延岡市北川町川内名	
水系・河川名	五ヶ瀬川水系 北川／田代川／桑原川	
発電方式	ダム水路式	
最大出力	25,100 kW	
最大使用水量	25.0 m ³ /s	
有効落差	116.80 m	
水車形式	立軸単輪単流渦巻フランシス	
最大出力	26,000 kW（1台）	
発電機形式	三相交流同期	
発電開始日	昭和 37 年 8 月 9 日	

実証項目は対象アナログ計器ごと実施した。タイムスケジュールを表 9 に示す。

表 9 2024 年 1 月 30 日タイムスケジュール

実施場所	時刻	実証項目
下赤発電所	9:30	実証開始 ① 三脚で固定したカメラでアナログ計器を撮影 ② 撮影した映像をクラウドサーバ経由で確認 ③ AI による指示値の読取りと遠隔での確認 ※ 所要時間として 1 計器につき 20～30 分程度かかった 実証した主なアナログ計器は次のとおり： <ul style="list-style-type: none"> • 発電出力に関する丸型計器 • 補機制御盤に関する角型計器 • 水車制御盤の棒状の温度計
	16:30	実証終了

下赤発電所での検証の様子を図 19 に示す。



図 19 下赤発電所での検証の様子

北川発電所でのタイムスケジュールと検証の様子をそれぞれ表 10、図 20 に示す。

表 10 2024 年 1 月 31 日タイムスケジュール

実施場所	時刻	実証項目
北川発電所	9:30	実証開始 ① 三脚で固定したカメラでアナログ計器を撮影 ② 撮影した映像をクラウドサーバ経由で確認 ③ AI による指示値の読取りと遠隔での確認 ④ 異常値を検知した場合のアラート発報 ※ 所要時間として 1 計器につき 20～30 分程度かかった 実証した主なアナログ計器は次のとおり： ・ 発電出力に関する丸型計器 ・ 補機制御盤（圧油ポンプ等）に関する角型計器 ・ 給水モーターの棒状の温度計
	16:30	実証終了



図 20 北川発電所での検証の様子

2.3 実施条件等

本実証にあたっては、対象の業務内容等も踏まえ、技術導入が容易な高い汎用性、機器の防水への対応および通信環境を前提条件とした。実施条件を表 11 に示す。

表 11 実施条件

条件	対応内容
汎用性	<ul style="list-style-type: none">• 一般に販売されている、調達可能なカメラを使用• 機器の故障時に速やかに交換・修理が可能な保証や体制• ソフトウェアは特定のカメラや機器に依存しない実装（表 6 参照）
防水機能	<ul style="list-style-type: none">• アナログ計器を撮影するカメラは防塵防水規格 IP66 に対応• 防塵防水規格に対応した製品は一般に高価であり、選択肢が極めて少ないことから、スイッチングハブについては IP66 に対応したボックスの中に設置して対応（図 21）
通信環境	<ul style="list-style-type: none">• 異なる通信キャリアとしてドコモと au を使用• オフライン状況でも稼働できる仕組みとして発電所内に LAN を構築



図 21 IP66 対応ボックス（右は PoE ハブを設置した状態）

3 技術実証の結果

3.1 結果の評価ポイント・方法

実施項目①～④の検証結果を評価するにあたり、評価ポイントと評価方法について記載する。以下に示す評価項目(1)～(8)は、本実証の目的、前提条件や対象業務に係る要求事項を踏まえ、設定した。なお、当初は「センサー（カメラ）等の経年劣化による取得情報の精度低下」も評価項目として設定したが、本実証の期間中においてはセンサー（カメラ）の経年劣化自体の事象を再現することが出来ず、劣化判定の検証までは出来ないことから最終的には評価対象外とした。

3.1.1 評価方法

- (1) デジタル技術を活用した代替手法が、現行の人手による点検等と同等以上の精度で実施可能であるか

表 12 評価ポイントと評価方法(1)

評価ポイント	評価方法
カメラから取得する映像をもとに、遠隔地の人が各種アナログ計器の値を、現場で確認できる情報と同等の誤差（1%程度）で収集・視認可能か	テスト項目を用意し、現地確認と遠隔確認による判定の比較に関して、以下の計算式で誤差の算出、複数項目でテストを行った誤差の平均値を集計する。 目視による計測値（正解値）とモデル読取値の誤差の計算式： 誤差 = (正解値 - モデル読取値) / アナログ計器の最大値（幅）
本実証の公募資料に記載のアナログ計器の種類（指示計、ダイヤル温度計、棒状温度計、油面ゲージ、油面リレー、油面計、圧力計）に対応可能か	大分県企業局と協議・選定したアナログ計器（2.1.5 参照）をカメラで撮影、AI による読み取りが可能かを評価する。対応出来ないアナログ計器に関しては本システムで汎用的に対応出来ない理由を考察として提出する。
明るさやアングル等の様々な撮影条件下でも、同様の結果が得られるか	室内照明オン／オフで明るさを変えること、あるいは正面や正面以外のアングルで撮影しながら、人による目視点検と同等の結果（誤差 1%程度）を確認できるか評価を行う。 また、屋外のアナログ計器に対し、水滴あり／なしの状態で撮影し、人による目視点検と同等の結果（誤差 1%程度）を確認できるか評価を行う。

- (2) 定期点検等の実施者（事業者、自治体、国の出先機関又は民間の調査員）の実務（点検対象や点検方法）に対応する技術であるか

表 13 評価ポイントと評価方法(2)

評価ポイント	評価方法
デジタル技術を活用した代替手法は、「大分県企業局事業用電気工作物(電気事業)保安規程」及び「発電所機器定期巡視基準」に示された、巡視の内容及び対象となる機器・項目に係る動作異常の検知に資する情報収集は可能か	1.2 に示した対象法令をもとに大分県企業局と協議・選定したアナログ計器をカメラで撮影、遠隔確認の評価を行う。対応出来ないものに関しては本システムで汎用的に対応出来ない理由を考察として提出する。
デジタル技術を活用した代替手法は、「大分県企業局事業用電気工作物(電気事業)保安規程」及び「発電所機器定期巡視基準」に示された、巡視の内容及び対象となる機器・項目に係る動作異常の検知は可能か	<ul style="list-style-type: none"> 社内に別途検証環境を構築し、アナログ計器に対し異常値の模擬入力を行い、異常検知の発報に関する評価を行う。 北川発電所にて上下に振れるアナログ計器に対し、システムに警報値を設定し、異常検知の発報の評価を行う。

- (3) 定期点検等の実施者にとって、技術導入が容易な、汎用性の高い技術であるか

表 14 評価ポイントと評価方法(3)

評価ポイント	評価方法
利用する計算機資源、ソフトウェア・ライブラリ、カメラ等は一般的に入手容易な技術を用いているか	一般的に入手するための方法を報告内容にまとめ考察を入れることで評価する。
他の発電所等のうち一定割合以上で同技術の導入可能性があるか	複数の発電所における環境を調査の上、明るさなどシステムが正常に動作する条件を記載することで、その条件を満たす発電所において適合する技術であることを評価する。
実証技術の導入コスト面で現状業務との代替可能性があるか	現状の定期点検業務にかかっている人的な年間コストをヒアリング調査の上、現地において必要な本システムの設置コスト（年間按分したもの）と運用コストを算出し、それらを比較することで検証を行う。
取得される各種情報は汎用性を有し、点検等の実施者が2次加工可能なデータフォーマットとなっているか	データの抽出が出来、抽出したデータが一般的なソフトで使用出来るファイル形式（JPEG など）であるかの評価を行う。
ソフトウェアの設計上、AI モデルやセンサー等の入れ替えは可能か（特定の AI、セン	<ul style="list-style-type: none"> AI モデルの互換性を持たせながら機能の追加・更新が可能かを評価する。

評価ポイント	評価方法
サー等に依存しないか)	<ul style="list-style-type: none"> カメラに関して入れ替え可能なハードウェアの条件を記載することで評価する。

- (4) 巡視を実施する発電所職員及び委託事業者において故障時に速やかに交換・修理等が可能な、汎用性の高い技術であるか

表 15 評価ポイントと評価方法(4)

評価ポイント	評価方法
利用する計算機資源、ソフトウェア・ライブラリ、カメラ等は一般的に入手容易な技術を用いているか	一般的に入手、修理、交換するための方法を報告内容にまとめ、考察を記載することで評価する。
利用する計算機資源、ソフトウェア・ライブラリ、カメラ等について、十分な稼働率を確保できるか	稼働率（＝使用可能時間/合計時間）を測定し、評価する。
カメラ、通信機器等の電気機器を新規に導入することに伴う漏電・感電の可能性はないか	<ul style="list-style-type: none"> 使われているハードウェアのマニュアルや説明書を参照し、漏電・感電に関する項目が JIS に準拠していることを確認し評価する。 防塵防水対応として IP66 相当であることを確認し評価する。

- (5) 電波増幅に係る技術、オフライン環境下でも利用可能な技術を活用する等、電波環境に関する必要な措置を講じているか

表 16 評価ポイントと評価方法(5)

評価ポイント	評価方法
オフライン環境下において、別の通信手段によって対応可能な構成としているか	<p>施設内の一部でオンラインの環境が存在する想定においては、LAN などを接続した通信環境にて実証を行うことで評価する。</p> <p>施設内全てがオフラインのような環境で同様のシステムを稼働させることが出来るかの実証に関しては、対応可能な構成があるかなどを考察としてまとめることで評価する。</p>

- (6) 遠方の事務所に滞在する発電所職員及び委託事業者リアルタイムで送信できる技術であるか、および高解像度の画像データ等をリアルタイムで送信する場合、伝送・通信時にデータ容量削減・圧縮等、伝送・通信の効率化・省力化に関する必要な措置を講じ

ているか

表 17 評価ポイントと評価方法(6)

評価ポイント	評価方法
遠方の事務所へのデータ到達の遅延が実務に影響を及ぼさない範囲内であるか	時刻を揃えた 2 つの時計を用意し、現地の時計の時刻と手元（遠隔地）の時計の時刻とを比較して遅延を測定し、評価する。
通信会社に制約されずに操作可能か	異なる通信キャリアで稼働できるシステム構成であることを評価する。異なる通信会社の通信機器を使用して現地にて実証実験を行うことで評価する。
遠隔からのアナログ計器の巡視等に要する時間（2 時間程度）以上、通信が途切れずに操作可能か	遠隔からシステムの画面を操作し、映像や読取り値の確認を 2 時間以上動作し続けることができるかを評価する。
圧縮したフォーマット（H.264 等）で伝送しているか	プログラムコードを確認し、圧縮したフォーマットを使用しているかを評価する。

- (7) カメラ等の故障による遠隔監視不良及び指示値判定不良が発生することを防ぐため、防水機能を備える等の配慮を行っているか

表 18 評価ポイントと評価方法(7)

評価ポイント	評価方法
利用する計算機資源、カメラ等における防水の保護等級が一定以上であるか	使われているハードウェアのマニュアルや説明書を参照し、防水に関する項目が国際標準規格に準拠していることを確認し評価する。

- (8) AI が出力する結果の不確実性に対応可能か

表 19 評価ポイントと評価方法(8)

評価ポイント	評価方法
AI の誤判定や誤検知の事象が発生しているか、遡って検証できるか	発報を起点のメールと録画映像を目視で確認し、誤検知の事象を遡って計測出来るかを評価する。
システムの発報時にメール等で即座に発報結果を確認できるか	実証時の発報テストで任意のメール受信の結果を確認することで評価する

3.2 結果及び評価・分析

3.2.1 実施結果詳細

(1) 通信キャリア

実証実験で使用した通信キャリアを表 20 に示す。現地調査にて電波を最も強く捕捉できた通信キャリアを採用した。

表 20 通信キャリアとルータ

拠点	通信キャリア	ルータ型式
下赤発電所	ドコモ	HOME 5G HR01
北川発電所	au	HOME 5G L12

(2) 実施アナログ計器数

下赤発電所および北川発電所において、実施項目①に基づき撮影し、本システムによる読取りの実施対象としたアナログ計器は次のとおりである（表 21）。1 計器に対し、読み取る針が 2 本ある場合（図 22）は読取実施件数を 2 件とカウントしている。

表 21 実施件数

拠点	計器数	読取実施件数
下赤発電所	27 器	60 件
北川発電所	14 器	32 件
合計	41 器	92 件



図 22 読み取る針が 2 本あるアナログ計器（黒針と赤針）

読取りの実施対象とした 41 器のアナログ計器は技術的な観点（2.1.6(2)参照）から 4 つに分類される。種別ごとの計器数を表 22 に示す。

表 22 実施したアナログ計器の種別と計器数

種別	計器数	内訳（場所・個数）
丸型計器	27 器	下赤:21 器 北川:6 器
角型計器	8 器	下赤:5 器 北川:3 器
棒状油面／温度計	4 器	下赤:1 器 北川:3 器
棒状計器（ポイント型）	2 器	北川:2 器

(3) 撮影条件

現地での実証時の撮影条件をまとめると、次の読取実施件数の分布であった（図 23、図 24、図 25）。撮影角度は真正面の撮影位置を 0 度とし、どの程度斜めから撮影したかを目測で測った。撮影条件として、アナログ計器までの撮影距離は 121cm～130cm、明るさは 1～20 ルクス、撮影角度は 0～9 度の読取実施件数が最も多かった。

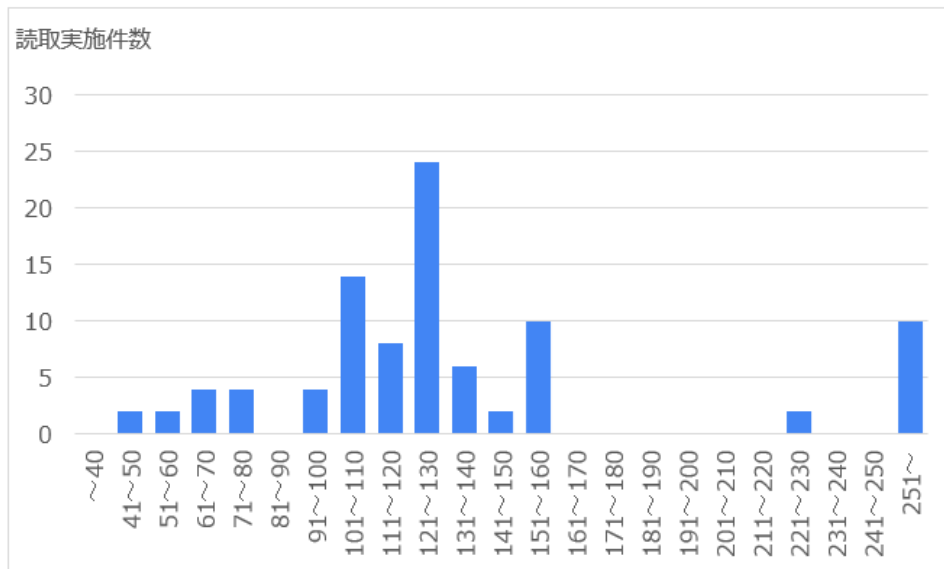


図 23 アナログ計器からカメラまでの距離分布図 (cm)

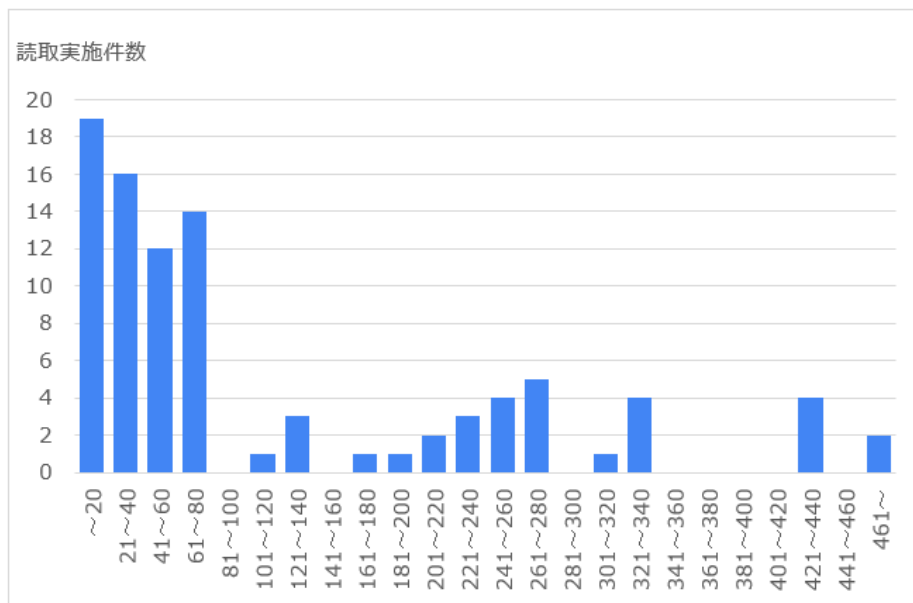


図 24 明るさ分布図 (ルクス)

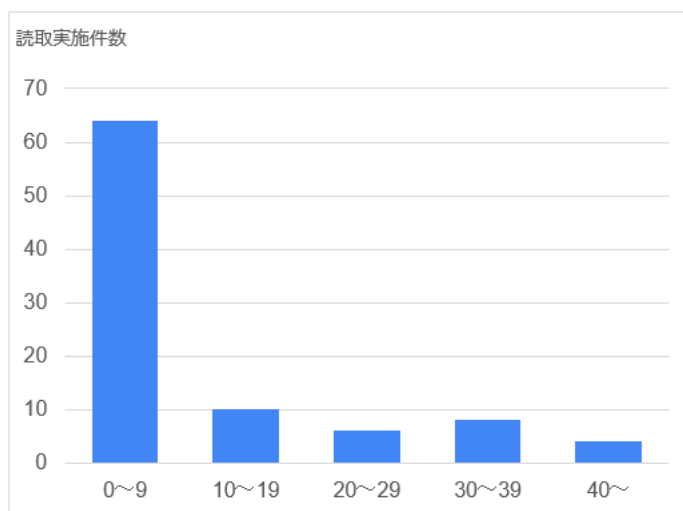


図 25 アナログ計器に対する撮影角度 (度) の分布図

(4) 読取り成功と読取りエラーについて

現地で実施した読取りの内訳として、モデルの読取成功の件数と読取りエラーの件数を表 23 に示す。読取りエラーはモデルが針を正しく検知できない場合などに発生する。また、パーセント換算で 10 ポイント以上の誤差があった場合もエラーに分類した (誤差の算出方法は 3.1.1(1)を参照)。なお、LED 照明は常にオンの状態で検証した。

表 23 読取り成功／エラーの件数

分類	件数	全体に対する割合
読取り成功	77 件	83.7%
読取りエラー	15 件	16.3%
合計	92 件	100.0%

上記に関し、室内照明オンの場合に限った場合の結果を表 24 に示す。但し、屋外で実施された 2 件は含まれない。室内照明オンでの検証の様子を図 26 に示す。

表 24 室内照明オン（LED 照明オン）での読取り成功／エラーの件数

分類	件数	割合
読取り成功	44 件	93.6%
読取りエラー	3 件	6.4%
合計	47 件	100.0%

読取りエラーとなった 3 件のうち、1 件が下赤発電所にある 2 針の丸型計器で赤針を検知できずに読み取れなかったもの、あとの 2 件は角型計器の読取りで誤差が 10%を超えたものであった。

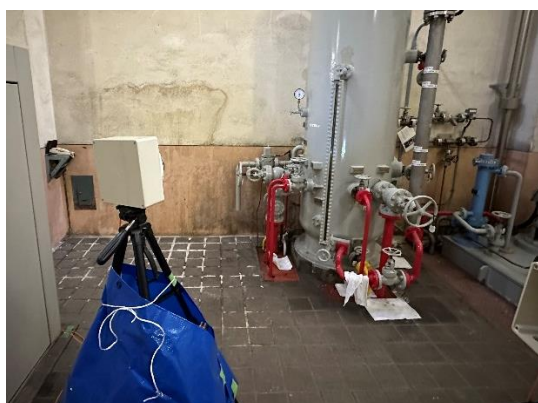


図 26 室内照明オンでの検証の様子

室内照明オフで検証した結果を表 25 に示す。但し、屋外で実施された 2 件は含まれない。読取りエラーについて、室内照明オフでの割合が 27.9%であり、室内照明オンの場合（6.4%）より増えた。読取りエラーとなった 12 件のうち、7 件が針を検知できずに読み取れなかったもの、あとの 5 件は針を検知できたが誤差が 10%を超えたものであった。検証の様子を図 27 に示す。

表 25 室内照明オフ（LED 照明オン）での読取り成功／エラーの件数

分類	件数	割合
読取り成功	31 件	72.1%
読取りエラー	12 件	27.9%
合計	43 件	100.0%



図 27 室内照明オフでの検証の様子

(5) 誤差

室内での読取りが成功した 75 件における誤差を表 26 に示す。アナログ計器の読取りが成功すれば、誤差は 1%未満であった。

表 26 読取り誤差

分類	件数	誤差
室内照明オン	44 件	0.8%
室内照明オフ	31 件	0.6%
全体	75 件	0.7%

誤差の分布を図 28 に示す。0.2%以下の誤差が最も多い。

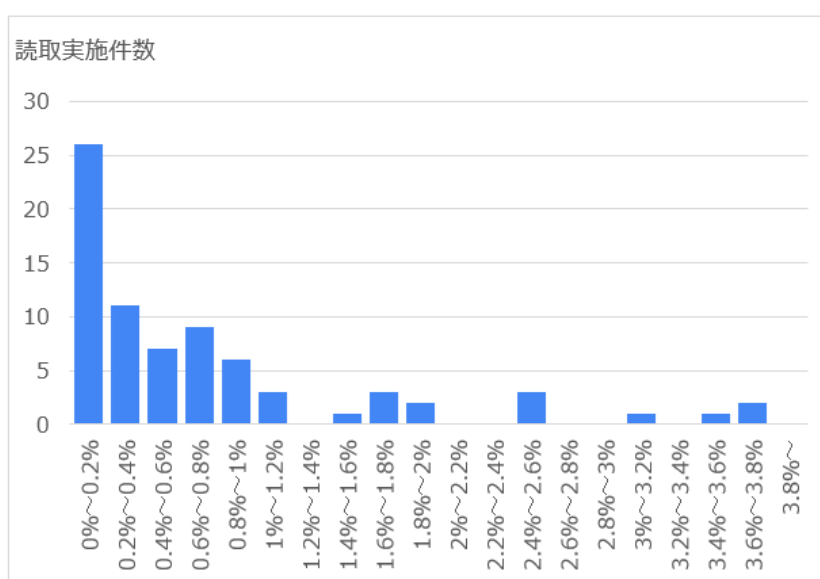


図 28 誤差分布図 (全体) 0.2 ポイント(%)刻み

水滴を付けた状態での読取り精度の検証のために、下赤発電所の屋外にある丸型計器の読取りを実施した結果は次を表 27 に示す。アナログ計器に対し水滴を付着させた場合と付着させない場合のそれぞれ 1 回ずつ実施した。検証の様子を図 29 に示す。

表 27 水滴なし／ありでの誤差

水滴	誤差
水滴なし	0.1%
水滴あり	0.3%



図 29 水滴を付けて検証している様子

(6) 動画による中央値の読取り検証

中央値読取りの検証は、事前に撮影した動画を使って行った。対象は下赤発電所にある力率を示すアナログ計器とし、動画を読取りモデルで解析した結果を大分県企業局に確認してもらったところ、応答性は良好であるが、モデル読取値の精度には課題が残るという回答であった。

(7) 映像遅延

映像遅延に関して、まずクラウド経由の遠隔地での映像は問題なく閲覧できた。下赤発電所と北川発電所で撮影した時計について、遠隔地 PC の映像とその手元の時計を確認し、それぞれ 4 回ずつ映像遅延時間を測定した。測定結果を表 28 に、ライブ映像確認画面を図 30 に示す。

表 28 遅延時間

拠点	平均値	最小値	最大値
下赤発電所	2.3 秒	1 秒	3 秒
北川発電所	2.5 秒	2 秒	4 秒



図 30 ライブ映像確認画面（時計を映して遅延を計測した様子）

(8) 読取りエラーについて

本実証で見いだされたエラーの原因は大別すると以下の 2 点となる。(ア) 明るさ変化への未対応、(イ) 設定のズレであった。

(ア) 明るさ変化への未対応

発電所内の明るさは状況によって変化する。例えば、人が所内に存在する際には室内照明が点灯され、退出時には消灯される。現在の仕組みではメータごとに単一の設定がされているため、明るさが変化すると読取り性能が低下することがわかった。これは盤面の色などの情報が明るさにより変化するためである。見え方の変化例を図 31 に示す。

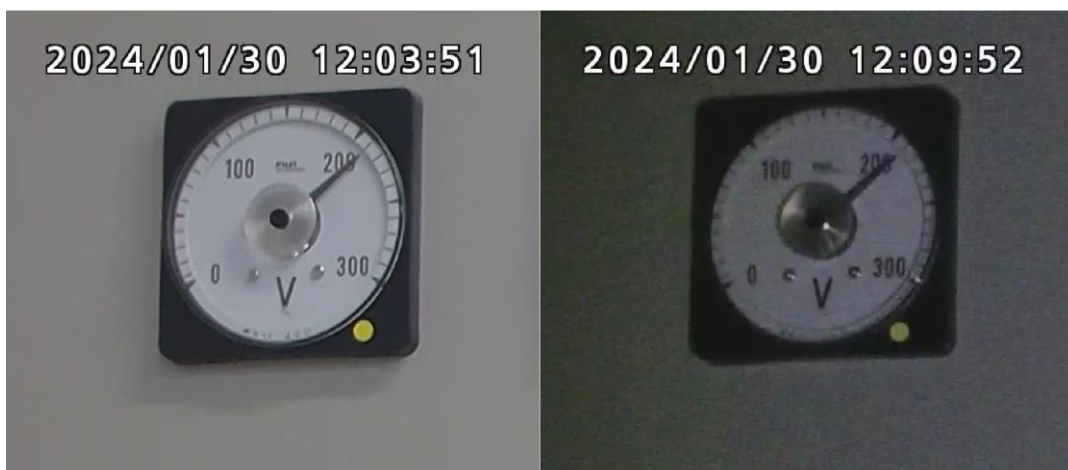


図 31 室内照明オン（左）と室内照明オフ（右）での見え方の変化

(イ) 設定のズレ

本実証で明らかになったもう一つの課題は、設定の難易度の高さである。各アナログ計器に対しては盤面の位置、目盛の位置とその値、針の色などを指定する（図 32）。その

際にそれぞれの位置がずれると読取り値がずれる原因となる。特に難易度が高かった設定は目盛の位置であり、アナログ計器を登録する際に正しく目盛位置を設定しないとモデル読取値の精度に影響がでた。1%以下の誤差を実現する場合、設定のわずかなずれが誤差につながる事が明らかとなった。



図 32 現在の設定画面（目盛り位置 4 点と値を指定する様子）

3.2.2 結果分析

- (1) デジタル技術を活用した代替手法が、現行の人手による点検等と同等以上の精度で実施可能であるか

表 29 評価ポイントと結果分析(1)

評価ポイント	結果分析
カメラから取得する映像をもとに、遠隔地の人が各種アナログ計器の値を、現場で確認できる情報と同等の誤差（1%程度）で収集・視認可能か	3.2.1(5)の記載のとおり、読取り成功時のモデル読取値の誤差は全体で0.7%であり、現場確認と同等の誤差であった。但し、3.2.1(4)で示す読取りエラーの件数が15件（16.3%）あった。
本実証の公募資料に記載のアナログ計器の種類（指示計、ダイヤル温度計、棒状温度計、油面ゲージ、油面リレー、油面計、圧力計）に対応可能か	検証対象となったアナログ計器は丸型計器、角型計器、棒状油面計、棒状計器（ポインタ型）の4つに分類できるが、3.2.1(4)に示すとおり、モデルがそれらの指示値を全く読めないアナログ計器はなかった。
明るさやアングル等の様々な撮影条件下でも、同様の結果が得られるか	3.2.1(3)で示す条件下においても、3.2.1(5)に示すとおり、許容誤差として設定した1%未満の誤差であった。但し、明るさが暗くなると針を読めなくなる場合があり、撮影映像としてアナログ計器の針を視認できる程度の明るさは必要である。

- (2) 定期点検等の実施者（事業者、自治体、国の出先機関又は民間の調査員）の実務（点検対象や点検方法）に対応する技術であるか

表 30 評価ポイントと結果分析(2)

評価ポイント	結果分析
デジタル技術を活用した代替手法は、「大分県企業局事業用電気工作物(電気事業)保安規程」及び「発電所機器定期巡視基準」に示された、巡視の内容及び対象となる機器・項目に係る動作異常の検知に資する情報収集は可能か	3.2.1(4)の結果のとおり、検証対象となった全てのアナログ計器に対し、遠隔で映像を目視確認しながら検証を実施した。
デジタル技術を活用した代替手法は、「大分県企業局事業用電気工作物(電気事業)保安規程」及び「発電所機器定期巡視基準」に示された、巡視の内容及び対象となる機器・項目に係る動作異常の検知は可能か	<ul style="list-style-type: none"> • 社内の検証環境において、異常値を模擬入力したところ、システムが異常検知し、アラート発報に関するメールを受信したことを確認した。異なるアナログ計器で2回実施し確認した。 • 北川発電所にて上下に振れるアナログ計器に対し、予めシステムに警報値を設定（電圧計器に5 kV、電流計器に5Aを設定）、11:00ごろの稼働に合わせて異常を検知し、20秒以内に受信メールにてアラート発報を確認した（図8参照）。

- (3) 定期点検等の実施者にとって、技術導入が容易な、汎用性の高い技術であるか

表 31 評価ポイントと結果分析(3)

評価ポイント	結果分析
利用する計算機資源、ソフトウェア・ライブラリ、カメラ等は一般的に入手容易な技術を用いているか	2.1.8に記載のとおり、カメラを含む機材およびソフトウェアは一般的に入手可能な製品を使用して環境を構築することができた。カメラおよび機材は販売代理店経由で調達した。ベースとなるソフトウェア（2.1.9）はインターネットより入手可能なものであった。
他の発電所等のうち一定割合以上で同技術の導入可能性があるか	<p>システム要件として下記を満たせば他の発電所でも導入可能だと考えられる。但し、費用面や対象とするアナログ計器については必要性を検討する必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 光回線または移動体通信網などでインターネットに接続できる拠点であること

評価ポイント	結果分析
	<ul style="list-style-type: none"> 物理的にカメラを設置でき、明るさを確保しながらアナログ計器を撮影できること
実証技術の導入コスト面で現状業務との代替可能性があるか	コスト面だけでは単純に試算すると代替可能性は低い。分析結果は 3.2.3(1)に記載する。
取得される各種情報は汎用性を有し、点検等の実施者が 2 次加工可能なデータフォーマットとなっているか	システムに保存される画像形式は JPEG フォーマットであり、二次加工可能な形式である。
ソフトウェアの設計上、AI モデルやセンサー等の入れ替えは可能か（特定の AI、センサー等に依存しないか）	<ul style="list-style-type: none"> 社内の検証環境において、AI モデルを実際に入れ替えたところ、正常に動作したことを確認した。 カメラは i-PRO 社製のネットワークカメラで H.264 での映像出力に対応していれば入れ替え可能である。社内の検証環境で実際に別のカメラに入れ替えて検証したところ、正常に映像が表示されたことを確認した。

- (4) 巡視を実施する発電所職員及び委託事業者において故障時に速やかに交換・修理等が可能な、汎用性の高い技術であるか

表 32 評価ポイントと結果分析(4)

評価ポイント	結果分析
利用する計算機資源、ソフトウェア・ライブラリ、カメラ等は一般的に入手容易な技術を用いているか	2.1.8 に記載のとおり、カメラを含む機材およびソフトウェアは一般的に入手可能な製品を使用して環境が構築された。カメラおよび機材は販売代理店経由で調達した。ベースとなるソフトウェア（2.1.9）はインターネットより入手可能なものである。
利用する計算機資源、ソフトウェア・ライブラリ、カメラ等について、十分な稼働率を確保できるか	実証実験期間中の 1 月 29 日 16:00 の設置から 2 月 1 日 9:00 の撤去までの 65 時間稼働させた。そのうち、北川発電所設置のメータ管理サーバのマシンが 1 月 31 日 12:33～12:45 の約 12 分間ダウンしていたことが確認された。よって、稼働率は 99.7%であった。
カメラ、通信機器等の新規に電気機器を導入することに伴う漏電・感電の可能性はないか	<ul style="list-style-type: none"> 2.1.8 に記載の機材について JIS 規格に準拠していることを確認した。 2.1.8 に記載の機材のうち、カメラ、PoE ハブ、中継機は IP66 に対応していることを確認した。

- (5) 電波増幅に係る技術、オフライン環境下でも利用可能な技術を活用する等、電波環境に関する必要な措置を講じているか

表 33 評価ポイントと結果分析(5)

評価ポイント	結果分析
オフライン環境下において、別の通信手段によって対応可能な構成としているか	遠隔からアナログ計器を確認することを想定したシステムのため、完全なオフライン環境ではシステムは動作できない。但し、システム構成として、発電所内の LAN にオンプレマシンを設置したことで、一時的にオフラインになったとしてもデータを喪失することなく稼働しつづけることは可能である。

なお、本実証では、移動体通信の電波自体を増幅する手段は実証していない。現地調査の結果、発電所に届く移動体通信の電波を活用し、その回線を利用するルータを起点とした LAN を構築することで（2.1.7 参照）、本実証が可能であると判断したためである。

- (6) 遠方の事務所に滞在する発電所職員及び委託事業者にリアルタイムで送信できる技術であるか、および高解像度の画像データ等をリアルタイムで送信する場合、伝送・通信時にデータ容量削減・圧縮等、伝送・通信の効率化・省力化に関する必要な措置を講じているか

表 34 評価ポイントと結果分析(6)

評価ポイント	結果分析
遠方の事務所へのデータ到達の遅延が実務に影響を及ぼさない範囲内であるか	3.2.1(7)に示すとおり、アナログ計器の映像はほぼリアルタイムで確認できており、実務に影響を及ぼさない範囲であると大分県企業局は回答した。
通信会社に制約されずに操作可能か	下赤発電所ではドコモのルータを、北川発電所では au のルータを使用して実施した。通信会社に制約されずに操作が可能であった。
遠隔からのアナログ計器の巡視等に要する時間（2 時間程度）以上、通信が途切れずに操作可能か	実証実験において、下赤発電所および北川発電所にて 2 時間以上連続で操作しつづけて動作したことを確認した。
圧縮したフォーマット（H.264 等）で伝送しているか	メータ管理サーバの映像を伝送する箇所のプログラムコードを社内でチェックし、H.264 フォーマットで伝送していることを確認した。

- (7) カメラ等の故障による遠隔監視不良及び指示値判定不良が発生することを防ぐため、防水機能を備える等の配慮を行っているか

表 35 評価ポイントと結果分析(7)

評価ポイント	結果分析
利用する計算機資源、カメラ等における防水の保護等級が一定以上であるか	2.1.8 に記載の機材のうち、カメラ、PoE ハブ、中継機は IP66 に対応していることを確認した。

- (8) AI が出力する結果の不確実性に対応可能か

表 36 評価ポイントと結果分析(8)

評価ポイント	結果分析
AI の誤判定や誤検知の事象が発生しているか、遡って検証できるか	異常検知した際に発報されたアラートメールに記載されている情報を参照し、発報時点の画像と過去録画映像を目視で確認した。これにより誤検知の事象を遡って計測できることを確認した。
システムの発報時にメール等で即座に発報結果を確認できるか	異常検知した際に発報されたアラートメールは 1 分以内に受信、メール本文で結果を確認することができた。

3.2.3 課題整理

本実証を通じて明らかになった課題を整理する。

(1) 導入コスト・運用コスト

北川発電所への導入費用を概算で見積もった案を表 37 に示す。職員が点検業務を行っている現状のコストと本デジタル技術導入にかかるコストを算出した。職員稼働の単価は、大分県企業局へヒアリングした結果、2,474 円/時として計算した。

表 37 導入費用と運用費用

	導入費用	運用費用（月額）
現状	なし	現地での作業は月 2 回を想定 職員人件費・交通費合計 ⁶ ：9.5 万円
デジタル技術導入後	LAN 構築費： 650 万円 オンプレサーバ： 30 万円 ビデオレコーダ： 70 万円 セットアップ費用： 150 万円 合計： 900 万円 ※LAN 構築費にはカメラ調達費およびカメラ設置費を含む。	カメラは 25 台と 4 台を使用する場合の 2 案で算出した。 <ul style="list-style-type: none"> カメラ 25 台想定 カスタマーサポート費⁷： 32.5 万円 職員人件費： 0.5 万円 合計： 33.0 万円 カメラ 4 台想定 カスタマーサポート費： 5.2 万円 職員人件費： 0.5 万円 合計： 5.7 万円

包括的な試算について、機器の法定耐用年数にて試算することが適当と考えられ、表 38 は 9 年としてコスト試算した。なお、法定耐用年数は地方公営企業法施行規則に基づき、機械及び装置のうち通信機器に該当するものとして整理した。

本システムを導入した場合、9 年単位で算出したとしても、コスト面だけでは単純に試算すると代替可能性は低い。すべてのアナログ計器にカメラを設置するのは導入費用が高くなるため、本システムを導入する場合は監視対象とするアナログ計器を絞ることで費用を抑えることができる。

⁶ 工数：16.5 人時/回、職員人件費（手当込）：4.5 万円×2（回）＝9 万円、交通費：0.25 万円×2（回）＝0.5 万円

⁷ カスタマーサポート費はカメラ 1 台につき 1.3 万円でクラウド利用料を含む。

表 38 9年換算の概算見積

	9年換算（108ヶ月換算）
現状	導入費用： なし ランニング費用：9.5万 × 108 = 1,026万円 合計： 1,026万円
デジタル技術導入 （カメラ 25 台）	導入費用： 900万 ランニング費用：33万 × 108 = 3,564万円 合計： 4,464万
デジタル技術導入 （カメラ 4 台）	導入費用： 900万 ランニング費用：5.7万 × 108 = 615.6万円 合計： 1,515.6万円

(2) 読取り精度

読取り精度は誤差 1%未満を達成したが、読取りエラーが発生していることから改善の余地がある。読取りエラーとなった場合は、例えばエラーの発生を通知することで、遠隔から職員が目視で読み取りカバーすることは可能であり、運用と合わせて仕様を検討する必要がある。以下、この課題への技術的な対応策を示す。

- 明るさ変化への対応

本課題を解決するために、明るさの変化に対応できるアルゴリズムを考案する。その方法としては、1) 明るさの変化を検出、2) 変化に応じて内部の設定を自動更新する、という手法である。この手法を用いることにより、実証にて読取り性能が低かった映像の読取り性能が向上することが社内の開発環境レベルでは確認できた。
- 設定ズレへの対応

本課題の解決につながる方法の1つとしてはUIの機能性向上も考えられる。現在は設定を行った後、結果を確認するために手順を要する。正しいモデル読取値が出力されるまで繰り返し設定を行う場合もある。そのため調整を完了させるのに長い時間がかかる。設定値修正後に即座に設定が正しいかを確認することができれば試行回数を減らすことができ、結果として設定の難易度が下がることとなる。

(3) システム面

実証実験を通じて、システムの視点で見つかった課題と展望について次に示す。

- システム仕様が未決定

本実証ではシステムの画面仕様が決まっていなかったため、想像で実装した部分があっ

た。アナログ計器をデジタル化する際には、デジタル化が進んでいる他のシステムとの統合を行うことで、使い勝手が向上する可能性がある。また、導入後はシステム障害も想定し検討する必要がある。

- 映像遅延
映像には数秒程度の遅延が見られるが、ほぼリアルタイムに近く、さらに滑らかに表示されているため実用性は十分に高い。
- アナログ計器登録の難しさ
アナログ計器を登録する際に針が振れる範囲や針の色を設定する必要があるが、正確に設定しないとモデルの読取り値に誤差がでる場合や読取りエラーになる場合があった。本番運用を見据えると、一般の職員でも容易にアナログ計器を登録ができることが望ましく、システムの機能改善が必要である。
- 設定反映にかかる処理時間の長さ
カメラ登録やアナログ計器情報登録の画面に関して、さらなる改良を行うことで所要時間を短縮できる可能性がある。

(4) ハードウェア面

カメラなどのハードウェアにおける課題を次に整理する。

- 防水・防塵対応
現場を調査したところ、防水対応については高度な耐性のある IP66 規格までは不要であり、水の飛沫に耐えられる IP44 規格程度まで緩めることができると推察される。その場合は導入費用が抑えられるため、適切なハードウェア要件を検討する必要がある。
- LED 照明
映像から目視で安定的に指示値を読み取るには 60 ルクス⁸程度以上の明るさが必要であり、またモデルが指示値を読取る場合も映像は明るい方がエラーは少ない。室内照明を消した状態で明るさを確保するには、アナログ計器付近を照らす補助照明設備、例えば LED 照明が必要となる。LED 照明が装着された i-PRO 社製カメラは販売されておらず、現時点ではカメラ単体では解決できない。照明を遠隔でオン／オフできないことも課題として残っている。これらの課題を解決するためには、関連する機器やソフトウェアの開発が必要である。
- カメラ設置位置の制約
カメラは、アナログ計器の正面に設置して撮影した方がモデルは正確に指示値を読み取れるが、カメラが職員による点検業務の妨げにならないようにする必要がある。30 度程

⁸ 寝室程度の明るさである。

度斜めの位置から撮影した場合でも指示値は読めていたことから、正面から目視確認の妨げにならないように設置することはある程度可能だと考えられる。

- インターネット通信
遠隔から映像または読取り値を確認するためには、発電所内ネットワークがインターネットへ接続されていることが必須である。本実証では、キャリア通信を介して遠隔地から実用レベルで映像を確認することが可能であるという成果を得られた。高解像度の映像や速いレスポンスを求める場合には、光回線を利用することが有効である。
 - 屋内 LAN 環境
LAN 内に一部無線通信ルートを設置して検証したが、下赤発電所および北川発電所の敷地の広さでは有線 LAN を敷くことは可能である。通信は有線の方がより安定するため、本番環境では有線で LAN を構築することが適している。
- (5) デジタル化・IT 化のメリット
対象業務をデジタル化・IT 化するメリットについて、本実証を踏まえ記載する。
- IT 化することで休むことなく連続でアナログ計器を監視することができ、異常が発生した場合は自動的にアラートを発報させることができる。
 - アナログ計器の映像を伝送することで遠隔地から目視で確認することができ、そのことによって現地に赴く時間を省ける可能性がある。IT 化が進むことで職員の生産性向上と満足度向上につながる。
 - デジタル化によりデータを蓄積することで、データから未来を予測できる可能性がある。

3.2.4 総括

本実証を通じて明らかになった今後の展望についてまとめる。

- (1) デジタル技術を活用することによって、アナログ計器を常時監視し、異常発生時には自動的にアラートを発報することが確認され、これによりアナログ計器の監視を効率的に遂行することが可能となる。
- (2) 定期巡視業務のため職員が月 2 回現地に赴き見回りを行っているが、デジタル化・IT 化を進めることにより遠隔でアナログ計器の指示値や映像をほぼリアルタイムでチェックできるため、現地での巡視業務を省力化することが可能となる。また、その他機器類の外観確認用のためのカメラを整備すれば、現地に赴くことなく遠隔で巡視業務を行うことを検討できる。
- (3) アナログ計器の読取値をデータ化し蓄積すれば、過去の変化をグラフなどで可視化することが可能になり、また過去データを分析することで問題の兆候や将来の予測が可能に

なる。

デジタル技術や IT を導入する際は、上記の点やコスト面での導入障壁を考慮し、アナログ規制のあり方を検討していく必要がある。

4 用語集

No	用語	定義・解説
1	クラウド	パッケージ提供されるソフトウェアをインターネット経由で提供するサービスのこと。クラウドサービスともいう。みまもり AI Duranta はクラウドの形態で提供される。
2	クラウドサーバ	クラウド上の仮想マシンやサービスを提供するソフトウェアのこと。
3	モデル	データ解析あるいは画像解析を行う計算方法を指す。モデルは「入力→計算処理 →出力」というプロセスによって成り立つ。AI（人工知能）における 1 つの処理方法であり、AI モデルと呼ぶ場合もある。
4	HTTPS	HTTP 通信をよりセキュアな接続（データの暗号化など）の上でやりとりする通信を指す。
5	IP66	IEC(国際電気標準会議)および JIS(日本工業規格)で定められた電気機器内への異物の侵入に対する保護等級（JIS C0920）の 1 つのこと。IP の後に続く数字がそれぞれ「防塵」と「防滴」の性能を表す。IP66 は、強風による粉塵が内部に入らず、豪雨でも浸水の恐れがない防塵防水仕様を示す。