

水力発電設備における保安管理業務の スマート化技術導入ガイドライン

令和 4 年 4 月

経済産業省

産業保安グループ電力安全課

履歴

制定・改定日・施行日	改訂事項	改訂内容
2021 年 4 月 1 日	—	新規制定
2022 年 4 月 1 日		一部改正（項目の追加等）

< 目次 >

第1章 本ガイドラインの目的	1
第1節 はじめに.....	1
第2節 適用範囲	2
第3節 用語及び定義	3
第2章 水力発電設備における保安全管理業務のスマート化の考え方	6
第1節 水力発電設備における保安全管理業務	6
第2節 スマート保安の方法と保安全管理業務のプロセス	8
第3節 スマート保安導入により期待される効果	21
第3章 水力発電設備における保安全管理業務のスマート化計画の策定	25
第1節 スマート化計画の進め方	25
第2節 スマート化計画の策定における留意事項.....	26
第3節 スマート化計画の策定のためのチェックリスト	29
第4章 水力発電設備における保安全管理業務のスマート化技術の運用	34
第1節 スマート化技術の運用フェーズの進め方.....	34
第2節 スマート化技術の運用フェーズにおける留意事項	34
第5章 水力発電設備における保守管理業務のスマート化事例	40
第1節 水力発電所遠隔モニタリング実証（長野県企業局）	43
第2節 遠隔監視・指示・操作を用いた実証（山梨県企業局）	50
第3節 ネットワークカメラによる監視、雨量データ伝送実証（宮崎県企業局）	57
第4節 IoT・ICT 技術適用に関する研究開発（中国電力株式会社）	63
第5節 令和3年度 AIを活用した水力発電所運転計画支援システム実証事業（長野県企業局）	70
第6節 企業局「スマート保安」推進事業（徳島県企業局）	72
第7節 神奈川県営発電所における遠隔モニタリングシステム構築事業（神奈川県企業庁）	77
第6章 スマート保安技術の先行事例	80
第1節 関西電力の事例	80
第2節 北海道電力の事例	82

第1章 本ガイドラインの目的

第1節 はじめに

水力発電は、一般的に安定供給性に優れたエネルギー源であり、一般水力はベースロード用として、揚水式は調整用の電源としての役割を担っている。中小水力発電についても、温室効果ガスを排出しない再生可能エネルギーとしての優位性のみならず、地域の分散型エネルギーとしても活用していくことが期待されている。

ただし、比較的規模が大きな出力の発電所を保有するものの、設備更新に対する資金が潤沢でない水力発電事業者においては、設備の経年化及び技術的ノウハウを持つ職員が定年退職等を迎えていることなどによる保守管理体制の低下の懸念が指摘されているところであり、今後、設備の適切な保守管理を維持していくためには、センサーやそれによって得られるデータの活用等を通じた先進的な手法の導入が期待されている。

経済産業省の「令和元年度新エネルギー等の保安規制高度化事業委託調査（水力発電設備における保安高度化推進事業）」においては、これまで行った調査結果を基に、設備の規模、出力、点検の手法等に応じた巡視の頻度・項目など点検の在り方の見直しを行うとともに、ICT、IoTを活用した先進的な手法を導入する水力発電設備に対する保守管理に関する要件の検証や導入プロセスの検討等を実施し、これらの導入を促進するためのガイドラインの要件整理を行った。

本ガイドラインは、今後、ICT等を活用した遠隔保守の導入を検討している水力発電事業者において一つ手引きとして活用してもらうことを目的として策定したものである。

策定にあたっては、令和2年度補助事業として行われたスマート保安技術実証事業の実証内容や有識者の意見等も踏まえ、ICT等を活用した保安管理業務のスマート化の導入に向けた計画の策定や調達等、一連の導入プロセス及び導入後の運用プロセスにおいて留意すべき事項等を記載したものである。

本ガイドラインが事業者におけるスマート化保安の導入を促進し、設備の適切な保守管理の向上に役立てられることを期待する。

第2節 適用範囲

本ガイドラインは、水力発電設備の保安管理業務に対して、ICT等を活用したスマート化技術を「導入」する際の一連のプロセス及び導入後の「運用」フェーズを対象とする。本ガイドラインにおける『導入』とは、「スマート化計画の策定」、「予算の確保」、「人材の確保」、「調達」、「スマート化技術の実装」等といったスマート化プロセスの一連の『導入フェーズ』を指す。また、本ガイドラインにおける『運用』とは、導入したスマート化技術の「活用促進」、「評価」、「人材育成」等といった導入後に実施・検討するプロセスを指す。

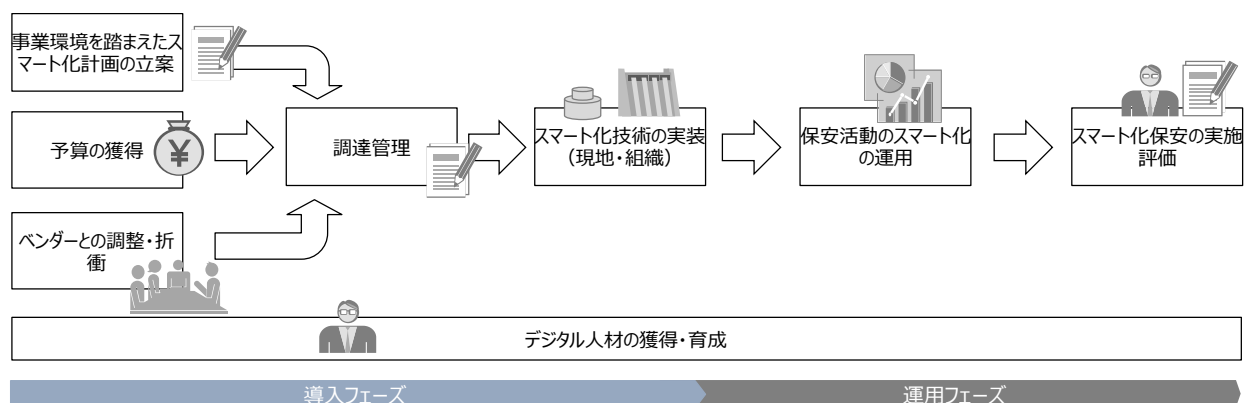


図 1 ICT 等を活用したスマート化プロセスの全体像のイメージ

第3節 用語及び定義

本ガイドラインにおいて使用する用語を以下のように定義する。

(1) ウェアラブル機器（デバイス）・ウェアラブルカメラ

ウェアラブル機器（デバイス）とは、腕や頭部等の身体に装着して利用するICT端末の総称¹である。本ガイドラインでは、ウェアラブルカメラはウェアラブル機器（デバイス）の1つとして、頭部に装着するカメラ型のものを指す。

(2) クラウド

クラウドとは、「クラウドコンピューティング（Cloud Computing）」を略した呼び方である。データやアプリケーション等のコンピューター資源をネットワーク経由で利用する仕組み²を指す。センサー等のIoT化を通じて得られる膨大なデータを効率よく保存・処理するため等に用いられる。

(3) サイバーセキュリティ

電子データの漏洩・改ざん等や、期待されていたITシステムや制御システム等の機能が果たされないといった不具合が生じないようにすること³。例えば、発電所の制御システム用ネットワークへのウイルスの侵入等、意図的なサイバー攻撃への対策を指す。

(4) スマートグラス

メガネ型のウェアラブル機器（デバイス）を指し、実際に見える景色等の情報に、レンズ（ディスプレイ）上のデジタル情報を重ねて表示することができる。ディスプレイ表示機能に加え、オーディオ機能を有するものもある。

(5) スマート保安、スマート化

スマート保安は、スマート保安官民協議会「スマート保安推進のための基本方針」（発行日：令和2年6月29日）より下記の通りとする。

「①国民と産業の安全の確保を第一として、②急速に進む技術革新やデジタル化、少子高齢化・人口減少など経済社会構造の変化を的確に捉えながら、③産業保安規制の適切な実施と産業の振興・競争力強化の観点に立って、④官・民が行う、産業保安に関する主体的・挑戦的な取組のこと。

具体的には、①十分な情報やデータによる科学的根拠とそれに基づく中立・公正な判断を行うことを旨として、②IoT や AI など安全性と効率性を高める新技術の導入、現場における創意工夫と作業の円滑化などにより産業保安における安全性と効率性を常に追求し、③事業・現場における自主保安力の強化と生産性の向上を

¹ 総務省「平成 28 年版 情報通信白書 ウェアラブルデバイスが注目されている背景」

<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/html/nc131410.html>（閲覧日:2022/2/28）

² 総務省「平成 30 年版 情報通信白書 クラウドサービスの概要」

<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd133210.html>（閲覧日:2022/2/28）

³ 経済産業省、独立行政法人 情報処理推進機構「サイバーセキュリティ経営ガイドライン Ver 2.0」,p.27

https://www.meti.go.jp/policy/netsecurity/downloadfiles/CSM_Guideline_v2.0.pdf（閲覧日:2022/2/28）

持続的に推進するとともに、④規制・制度を不断に見直すことによって、将来にわたって国民の安全・安心を創り出すこと。」

スマート化は、スマート保安に向けて現状を変化させることとして本ガイドラインで使用する。

(6) タブレット端末

指やペンで触れて操作可能な液晶画面（タッチパネル）を有する携帯可能な小型のコンピューター端末のことを指す。

(7) デジタル人材

デジタル技術の利活用に関して豊富な経験や知見を有する人材として本ガイドラインで使用する。

(8) ドローン・水中ドローン

ドローンとはコンピュータで制御された自律的飛行が可能な飛行ロボット⁴である。水中ドローンは、特にダムや導水管内を点検するために水中での利用が可能なドローンである。

(9) プラットフォーム

第三者間の相互作用を促す基盤を提供するような財やサービス⁵のこと。本ガイドラインでは、例えば、複数の発電所や事業者が有するデータやデータ分析のためのアプリケーションを共有・活用する情報基盤としてのプラットフォームを指す。

(10) ベンダー

スマート保安に用いるセンサーやネットワークカメラ等の機器の開発・製造・販売を行う会社を指す。

(11) 保安管理

水力発電設備の保安管理は主に、日次・月次で行われる現場の「巡視・点検業務」及び定期的を実施される「設備の検査業務」に大別することができる。

(12) AI

AI（人工知能）とは知的な機械、特に、知的なコンピュータプログラムを作る科学と技術⁶のこと。AIに内包される技術の1つである機械学習は、大量データの反復的な学習によってその特徴を法則化（モデル化）し、さらにこのような法則化を自動化する技術を指す。例えば、設備の振動データと不具合の実績データから、故障に至る予兆を機械学習によって法則化（モデル化）するといった例が考えられる。リアルタイムにセンサーから得られるデータをこのモデルを用いて分析することで、故障の予兆を早期に検出することが可能となる。

⁴ 特許庁「平成30年度特許出願技術動向調査報告書」（平成31年2月）p.1

https://www.jpo.go.jp/resources/report/gidou-houkoku/tokkyo/document/index/30_05.pdf（閲覧日:2022/2/28）

⁵ 農林水産省「「プラットフォーム」に関する用語の概念整理」

<https://www.affrc.maff.go.jp/docs/knowledge/knowledge/pdf/yougo.pdf>（閲覧日:2022/2/28）

⁶ 人工知能学会「人工知能のFAQ」

<https://www.ai-gakkai.or.jp/whatsai/AIfaq.html>（閲覧日:2022/2/28）

(13) IoT

IoTとは「モノのインターネット」(Internet of Things)を指し、様々な「モノ」がセンサーと無線通信を介してインターネットの一部を構成するという意味で、現在進みつつあるユビキタスネットワークの構築⁷を意味する。IoTによって、発電所等に設置されたセンサーやカメラ、設備等と遠方にある管理事務所との間で情報のやり取りが可能となる。

(14) OJT

OJT (On-the-Job Training, 職場訓練) とは、職場で仕事をやりながら上司や先輩等の指導のもとで仕事を覚えていく訓練⁸である。

(15) Webカメラ、ネットワークカメラ

撮影した映像をインターネット経由でリアルタイムにパソコン等に配信することができる小型カメラのこと。一般に、Webカメラはパソコン等に接続して用いるのに対し、ネットワークカメラは機器自体にIPアドレスが設定されており、単独でインターネットに接続することができる。

(16) xR技術

A R (Augmented Reality : 拡張現実) 、V R (Virtual Reality : 仮想現実) 、M R (Mixed Reality : 混合現実)などの総称⁹である。

⁷ 総務省「平成 27 年版 情報通信白書 (1) ユビキタスから IoT へ」

<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/html/nc254110.html> (閲覧日:2022/2/28)

⁸ 独立行政法人労働政策研究・研修機構「労働政策の展望 日本の OJT と PIAAC 調査」

<https://www.jil.go.jp/institute/zassi/backnumber/2020/02-03/tenbou.html> (閲覧日:2022/2/28)

⁹ 経済産業省北海道経済産業局「xR 技術による新ビジネス創出に向けて」(平成 30 年 7 月 23 日)

<https://www.hkd.meti.go.jp/hokim/20180723/about.pdf> (閲覧日:2022/2/28)

第2章 水力発電設備における保安管理業務のスマート化の考え方

第1節 水力発電設備における保安管理業務

1 保安管理業務の位置付け

水力発電設備の保安管理は主に、日次・月次で行われる現場の「巡視・点検業務」及び定期的を実施される「設備の検査業務」に大別することができる。

保安管理業務は、重大事故（水力発電設備の爆発・漏洩・火災・水没・設備損傷等）の未然予防を一義的な目的として実施するものである。加えて、その副次的な効果として、計画外停止などによる設備利用率の低下や設備損傷に伴う修繕、機器等の適正時期での交換などの保安管理コストの抑制という効果も期待され、保守管理のための最適な計画的停止や検査計画を立てることが可能となる。

これら保安管理業務は、基本的には「情報入手」、「異常判断」、「対応判断」、「対応動作」といった一般的な制御構造（INPUT→PROCESS→OUTPUT）によって捉えることができる。スマート保安のポイントは、このような保安管理業務について、①機能向上、②効率化、を図ることにある（図3）。

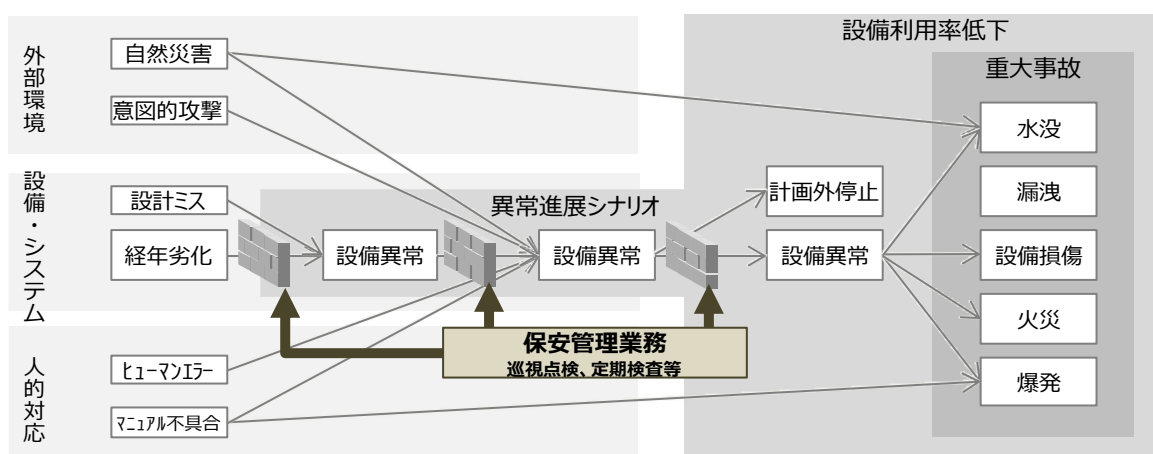


図2 水力発電設備の保安管理業務の位置付け

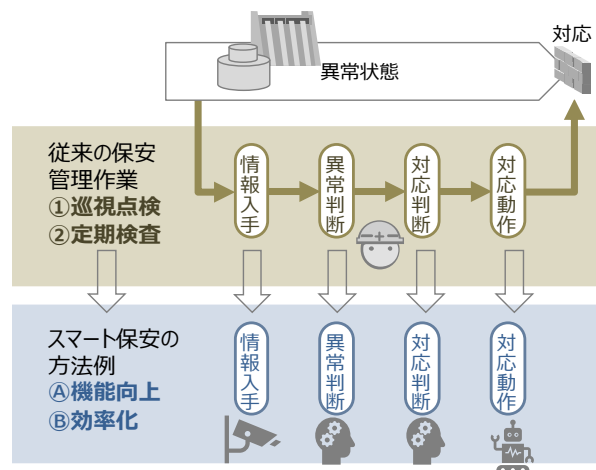


図 3 保安管理業務のスマート化のイメージ

2 現在の保安管理業務が直面している課題

台風や豪雨等の自然災害の激甚化、新型コロナウイルス感染症の拡大等、近年、国内の水力発電事業を取り巻く事業環境は大きく変化している。一方で、立地地域のみならず国全体としての人口減少・少子高齢化が懸念される中、水力発電事業においても、保安人材の高齢化や入職者数の減少等が課題となっているが、重要インフラである電気の保安は止めることができない業務であり、安定的な業務継続が必要である。また、発電事業全体としてCO₂排出削減に向けた大きな取り組みが始まっており、水力発電事業はその一翼として期待が高まっている。

このような背景の中、水力発電事業は現役世代の退職により、今後ますます人員不足やそれに伴う技術継承の滞りといった課題が顕著となることが予想されるが、そのような状況下でも保守管理レベルを維持する必要がある。一部の取り組みとしては、減少する人員を外部委託で補うケースも見られるが、それだけで現在の保安業務を維持することは難しい状況もある。

巡視点検は、保安管理業務の中でも大きな割合を占める作業であるが、その方法はこの30年以上、大きく変わっていないとされる。ICT等の技術が発展しながらも保安管理業務への活用が十分に進んでおらず、業務の生産性が高いとは言えない実情がある。水力発電事業は、その性格上、関連設備が山間地域等の遠隔地や立ち入ることが険しい環境におかれ、通信インフラの整備も十分でない場合が多いことが、先進技術導入の障壁になっていると考えられる。さらにそのような設備の保安管理作業のために移動を伴う業務は、労務リソースが割高となるだけでなく、移動時の事故発生といった労働安全面でのリスクも高い。

これらの課題を解決するためのアプローチとして、デジタル化技術等を活用した保安管理業務のスマート化を積極的に導入することへの関心が高まっている。

第2節 スマート保安の方法と保安管理業務のプロセス

1 水力発電設備における保安管理業務の将来像

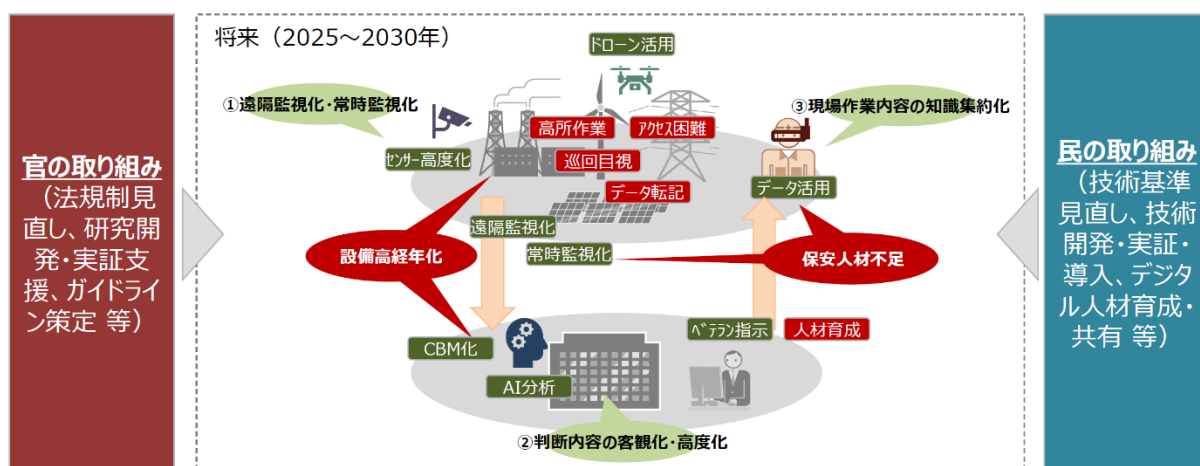
スマート保安の実現に向け、現在、官民の連携による「スマート保安官民協議会」が設置され、環境変化に対応した産業保安に関する主体的・挑戦的な取り組みを強力に推進するための活動が進められている。スマート保安の基本的な方針を明確化し、その重要性と取り組みの方向性についての共通認識の下、企業による先進的な取り組みを促進するとともに、国による保安規制・制度の見直しを機動的かつ効果的に行っている。

電気設備分野全体として抱えている設備高経年化・保安人材不足などの課題に対し、保安のスマート化・高度化を推進することで 2025 年～2030 年には、常時監視や遠隔監視が普及・拡大しており、これまで熟練技術者が対応・判断を行ってきた保安管理業務を IoT・AI 等で代替することで判断内容が客観化・高度化され、各種設備状況データの分析と携行機器の活用により知識集約化が図られている将来像が描かれている。

● 従来の保安活動を、以下のような技術で補完・代替。

- ① 定置センサーの増設やドローン・ロボットによる可搬センサーの現場搬送によって、労働集約的であった現場作業が合理化され、機器による**常時監視化・遠隔監視化が普及・拡大**。
- ② センサーの高度化・増設によるデジタルデータ化及び、AI活用による処理情報量の拡大と判断精度の向上によって、これまで一部が主観的・暗黙知であった**判断内容が客観化・形式知化**。
- ③ 各種設備状況データの分析と携行機器の活用によって、**現場作業内容がより知識集約化**。

● 事業者がスマート保安を導入していくことにより、**事故の予兆を早期に発見し、電気設備起因の事故の低減を目指す。**



出所）スマート保安官民協議会 電力安全部会「電気保安分野 アクションプランの概要」（経済産業省，2021 年 4 月）

図 4 電気設備分野全体の将来像

水力発電設備における保安管理業務へのスマート保安の導入によって期待される将来の保安管理業務のイメージを図 5 に示す。スマート化を導入する以前（現状）においては、五感やアナログセンサーにより取得・診断していた情報を、①Web カメラ、④タブレット、及び⑤ネット接続に代替することで、設備の常時監視と作業の効率化を図ると共に、デジタルデータ（③）を蓄積し、AI による⑥分析支援等に活用することで、保安管理レベルのさらなる向上が期待される。また、複数の発電所や事業所のデジタル化されたデータをネットワークで繋げた⑩プラットフォームが整備されることにより、監視作業を“いつでも・どこでも”可能にする『遠隔監視化・常時監視化（点検頻度の合理

化)』へと発展していく。設備老朽化への対応についても、AI 等による判断内容の客観化・高度化が期待される。さらに保安人材の減少については、デジタル化を通じて、現場作業内容の知識集約化による技術継承のための取り組みが図られることとなる。

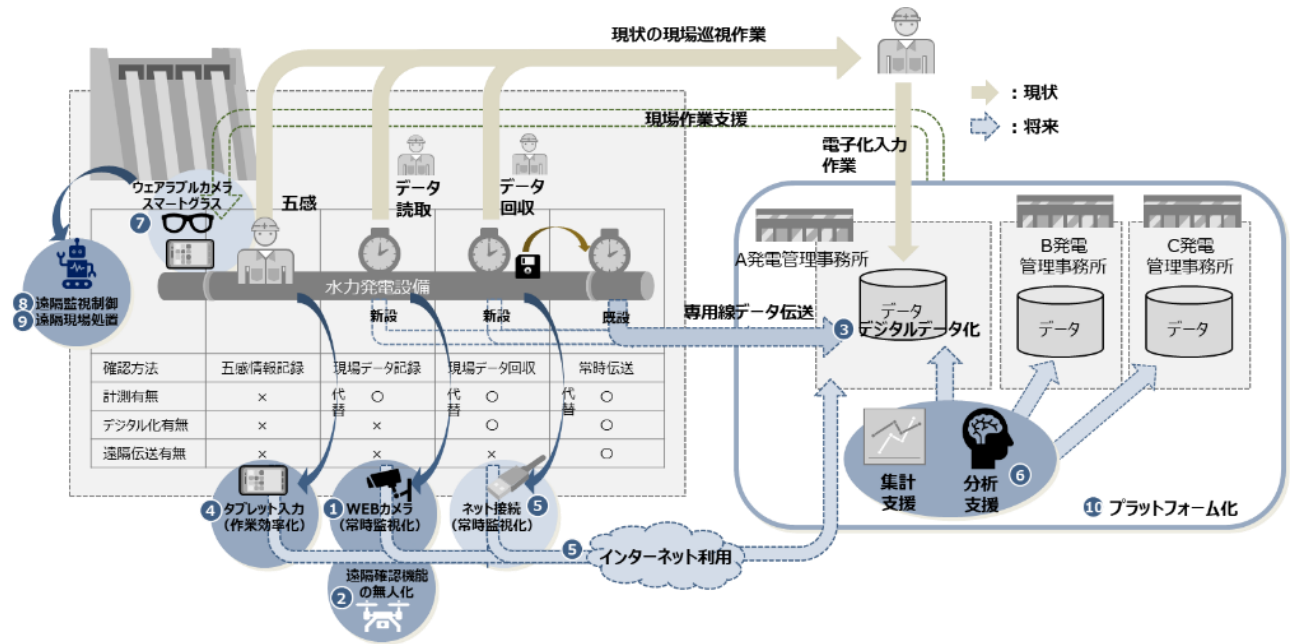


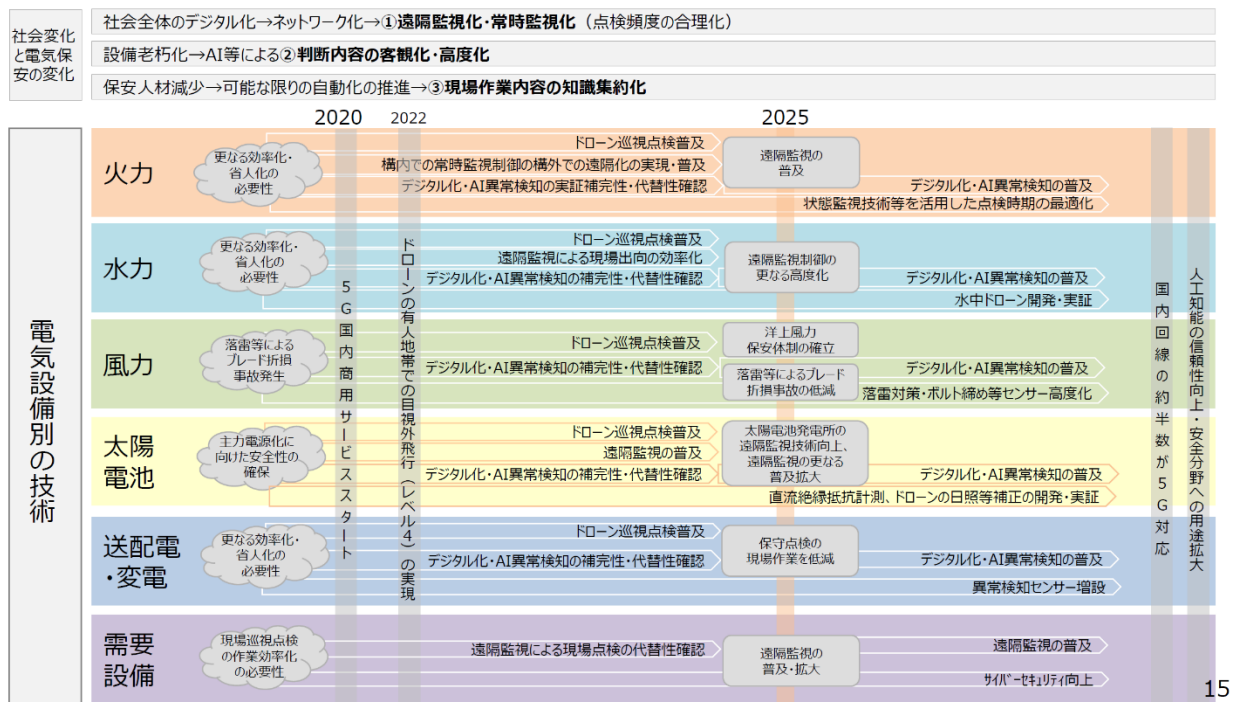
図 5 スマート化前後における水力発電設備の保安管理業務の例

2 水力発電設備のスマート化技術の実装に向けた道筋

「スマート保安官民協議会」では水力発電設備の保安管理業務の将来像として、2025 年を一つのターゲットイヤーに定め、

- 2025 年においては、すでに一定程度技術が確立し、導入の進むセンサーやウェアラブル機器について、現在の巡視点検における補完性・代替性を確認し、活用を促進することで、①遠隔監視のさらなる高度化や、②点検時間等の削減により、保安に掛かるコスト合理化を目指す。また、有用であるが、現在確立していない技術（例：水中ドローン等）の開発を促進する。
- スマート技術の活用を通じ、保安力の向上を図るとともに、異常の予兆を的確に把握することにより、計画的なメンテナンスに寄与することで、計画外停止の削減を目指す。

という絵姿を掲げている。その根底には、現時点で利用可能な技術は 2025 年までに確実に社会実装し、研究途上の技術については引き続き開発・実証を進め 2025 年度以降の社会実装を目指すという、基本的な考え方がある。



出所）スマート保安官民協議会 電力安全部会「電気保安分野 アクションプランの概要」（経済産業省，2021 年 4 月）

図 6 電気設備毎の技術実装の道筋

水力発電設備の保安管理業務のプロセスとスマート保安の手法について、その全体像を図 7に示す。保安管理業務のプロセス（情報入手→対応判断→異常判断→対応動作）に対して現在用いられている手段（人による現地・直接目視や現地操作等）は、それぞれ表 1に示すスマート化手法が、置き換わっていく候補として考えられる。

前述した、スマート保安を具体的に実現するためのターゲットイヤー（2025年）に対し、その手前となる第1段階では、個別の保安業務の効率化を図るべく、すでに一定程度確立している要素技術について、既存の保安業務の補完性・代替可能性について実証を進めるとともに、法令や業界指針の適正化といった環境整備を進め、その普

及を図り、スマート保安導入を推進する。取り組みの例としては、ドローン巡視点検の普及、遠隔監視による現場出向の効率化、デジタル化・AI異常検知の補完性・代替性確認が考えられる。

そしてターゲットイヤー後となる第2段階では、現在未確立の要素技術については、その開発・実証を進め、遠隔監視・制御の実現のため、要素技術を組み合わせた保安システム全体のマネジメントモデルの実証が行われるようになる。技術が確立した段階で徐々に実用化を進め、スマート化技術を保安活動の中で利用（ドローンによる外観点検や、センサーによるデータ取得等）する発電所数の割合の増加を目指していく。取り組みの例としては、デジタル化・AI異常検知の普及、水中ドローン開発・実証が考えられる。

それぞれの技術導入にあたり、設備付帯型（センサー等）の技術については、小規模な試行実施から進めていき、有効性を確認した上で、新設・リプレースの段階での導入が見込まれる。他方、設備非付帯型（ドローン・ウェアラブル機器等）については、技術毎の業務代替性を確認後、順次の導入が見込まれる。

「スマート保安官民協議会」のアクションプランでは以下の4つの項目に関連した技術を例に水力発電設備における保安管理業務の将来の絵姿が示されている（図 8～図 11）。

- 巡視点検・監視／制御のデジタル化・遠隔化
- AI活用による保安活動の判断支援
- デジタル端末の活用による現場作業高度化
- 点検におけるドローン活用

AIやドローン活用に関しては、水力発電も含む関連分野（石油化学プラント、電気保安等）において、複数の事例集やガイドラインが公開されており、水力発電設備を対象としたスマート化技術導入・運用においても参考になる（表 2）。

また、「電気保安制度ワーキンググループ」ではスマート保安促進の一環として、デジタル技術等の活用による遠隔監視の推進、ダム水路主任技術者の配置要件緩和等（図 12）を検討しており、技術革新やデジタル化といった環境変化に対応した合理的な保安体制を実現することを目指している。

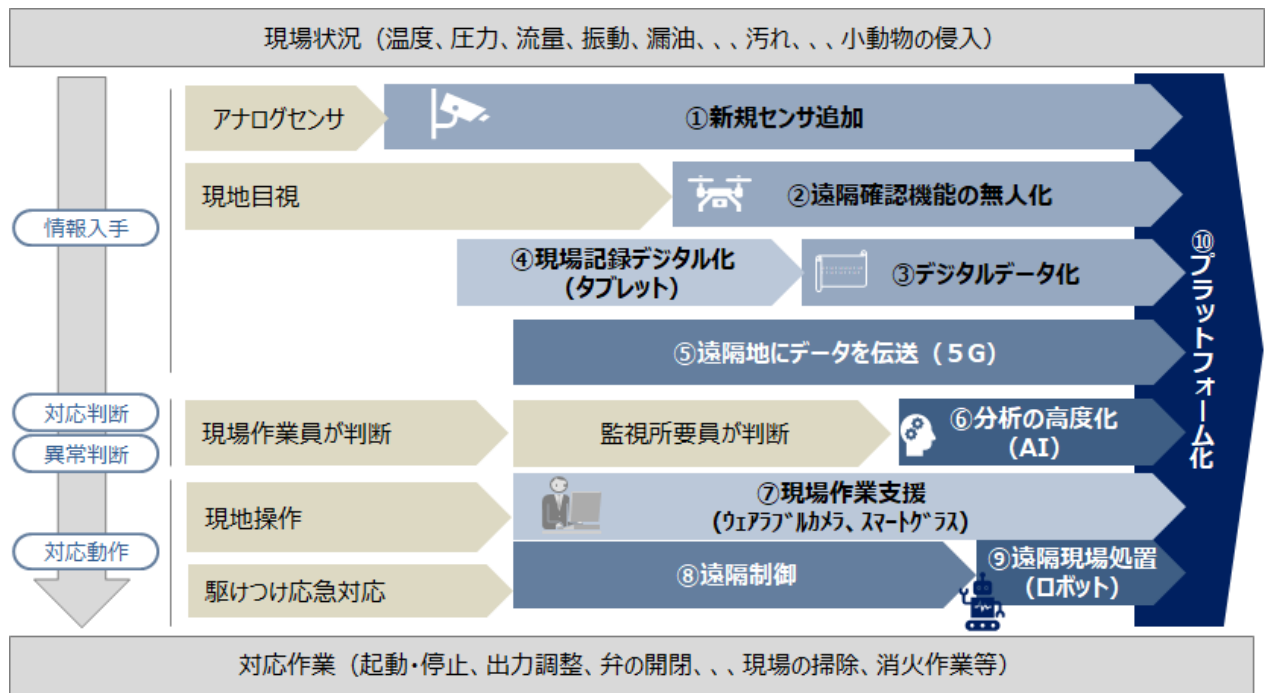
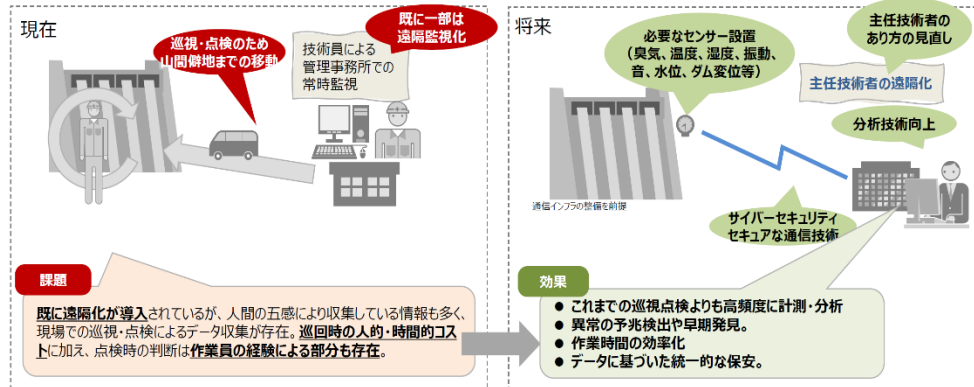


図 7 保安全管理業務とスマート化手法の全体像

表 1 スマート化類型

技術概要			
スマート化類型		技術例	概要
①	監視の常時化（高頻度化）・遠隔化	デジタルセンサ WEB カメラ	アナログメータの目視確認等、現場での五感による確認を、デジタルセンサーから得られるデータやカメラ映像のモニタリング等に置き換えることで、状態監視の常時化（高頻度化）・遠隔化を図ることができる。また、従来把握できなかった状態の見える化が可能となる。
②	現場確認の無人化・遠隔化	ロボット ドローン	現場状況の確認をロボット・ドローンによる遠隔監視に置き換えることで、現場確認の無人化・遠隔化を図ることができる。
③	センシングデータのデジタル化		アナログメータのデジタルセンサへの置き換えやアナログメータ指示値のカメラ読み取りにより、センシングデータをデジタル化し、プラント状態の見える化や分析に活用することができる。
④	作業記録のデジタル化	タブレット	現場作業の記録をデジタルデータとして現場入力することによって紙面での管理を効率化することができる。
⑤	遠隔伝送	5 G	ネットワーク環境を整備することによって遠隔地へのデータ転送を可能とする。特に 5 G 技術を活用することで動画などの大容量データや複数デバイスの同時接続が可能となる。
⑥	分析の高度化	AI	デジタルデータの内容を人工知能（AI）に学習させることによって、保安管理の様々なノウハウを非属人的な形で抽出・整理することが可能となる。
⑦	現場作業支援	ウェアラブルカメラ スマートグラス x R 技術	ウェアラブルカメラを通じて、遠隔地にいるベテラン作業員から現地にいる作業員に対する指示が可能となる。また、xR 技術を活用したスマートグラスなどを装備することで、各種データに基づいた判断の支援も可能となる。
⑧	遠隔制御		遠隔からの監視・操作により、現場に出向かずして設備の停止・復旧対応が可能となる。
⑨	遠隔現場処置	ロボット ドローン	現場にロボット・ドローンを配備することによって異常時の初期対応に活用することが可能となる。
⑩	データの共有化・ビッグデータ化	プラットフォーム	保安管理データを複数の発電所や組織の間で共有・ビッグデータ化することによって、より信頼性・精度の高い分析が可能となる。

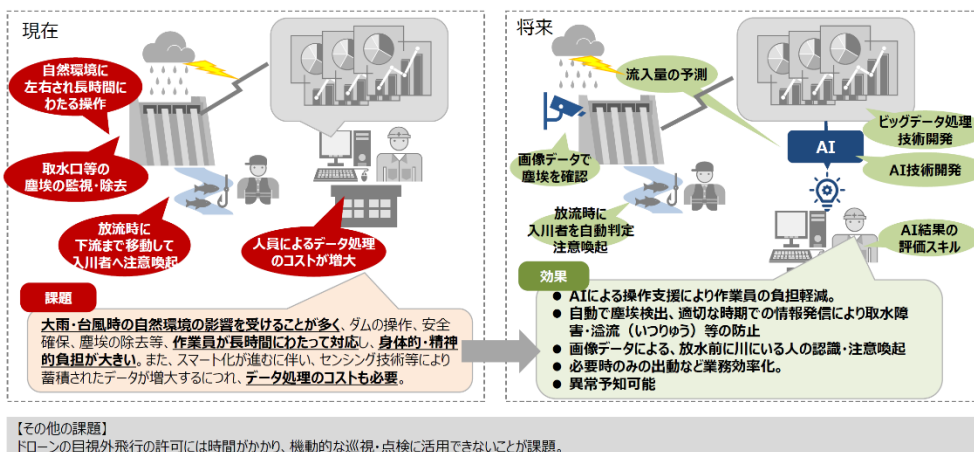
- 水力発電所は一部遠隔監視を行っているものの、現場での巡視・点検によるデータ収集も実施。山間僻地への巡回時の人的・時間的コストに加え、点検時の判断は作業員の経験による部分も存在。
- 現在、行われている遠隔監視技術に加え、巡視点検時の確認項目についてセンサーを用いて、これまでの巡視点検よりも高頻度に計測・分析することによって、異常の予兆検出や早期発見につなげる。また、巡視・点検頻度や作業時間の効率化や、データに基づいた統一的な保安が可能。
- 技術的には現場のセンシング技術、データの通信技術やサイバーセキュリティが必要。山間部であることから、通信インフラが整備されていない場所が存在。



出所）スマート保安官民協議会 電力安全部会「電気保安分野 アクションプランの概要」（経済産業省，2021 年 4 月）

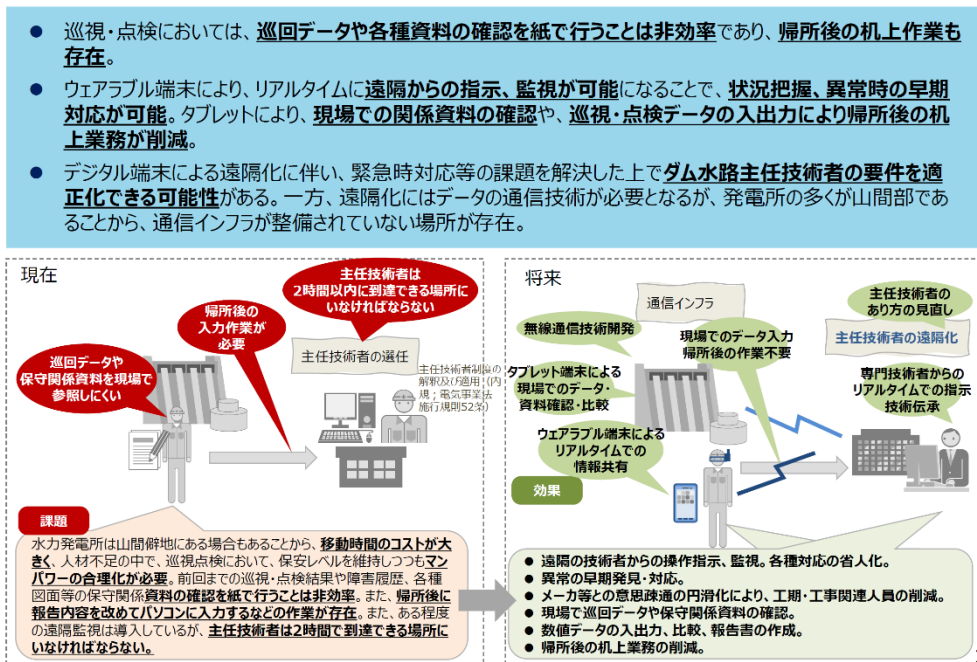
図 8 水力発電分野における技術（巡視点検・監視／制御のデジタル化・遠隔化）

- 大雨・台風時の自然環境の影響を受けることがあり、ダムの操作や安全確保等、長時間の作業に係る負担が大きい。また、スマート化が進むに伴いデータ処理のコストも必要。
- AIによる流入量予測などの操作支援により、作業員の負担軽減。画像データからの塵埃検出及び情報配信により、取水障害等の防止及び必要時のみの出勤など業務効率化。
- ビッグデータ処理やAI技術の開発が必要。



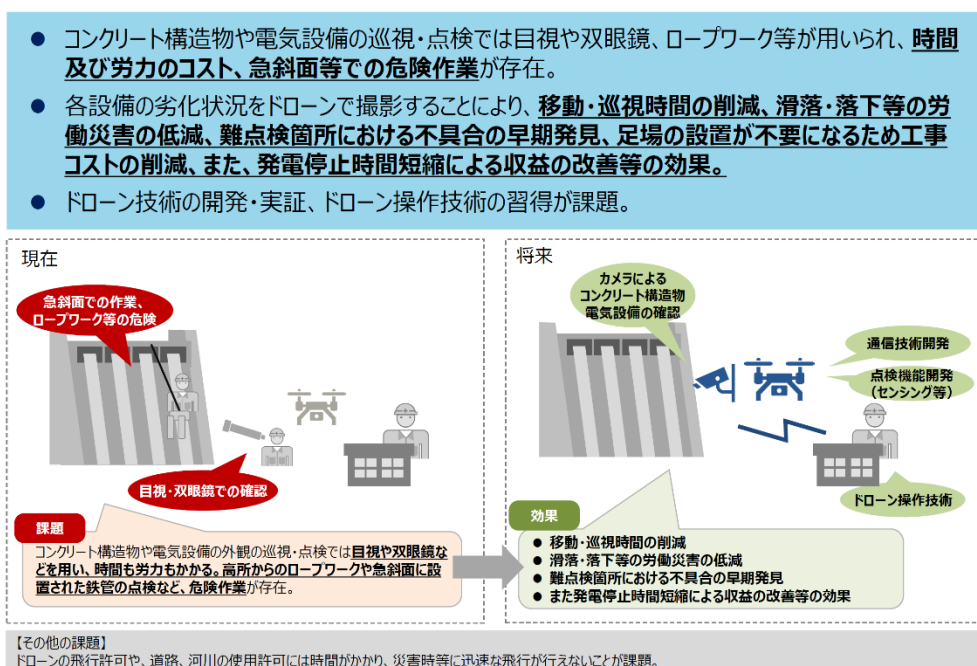
出所）スマート保安官民協議会 電力安全部会「電気保安分野 アクションプランの概要」（経済産業省，2021 年 4 月）

図 9 水力発電分野における技術（AI 活用による保安活動の判断支援）



出所) スマート保安官民協議会 電力安全部会「電気保安分野 アクションプランの概要」(経済産業省, 2021 年 4 月)

図 10 水力発電分野における技術 (デジタル端末の活用による現場作業高度化)



出所) スマート保安官民協議会 電力安全部会「電気保安分野 アクションプランの概要」(経済産業省, 2021 年 4 月)

図 11 水力発電分野における技術 (点検におけるドローン活用)

表 2 スマート保安導入に関連するガイドライン・事例集

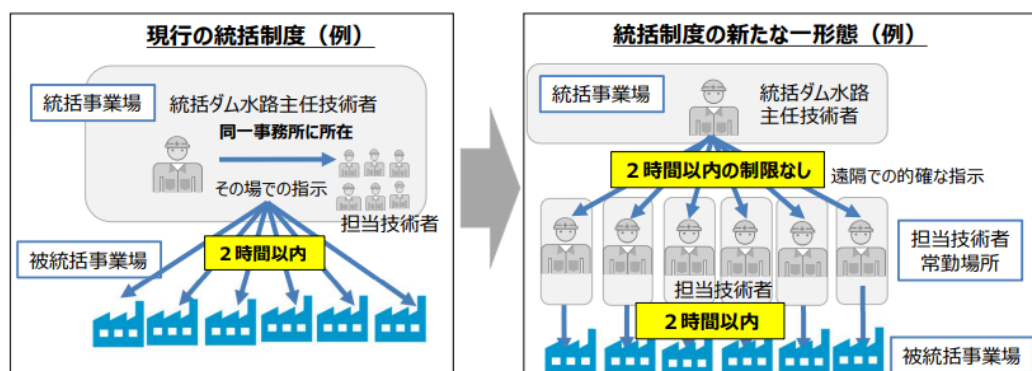
分類	ガイドライン・事例集名	概要
IoT 機器・AI システム 活用事例	「スマート保安先行事例集」（経済産業省 保安課）	● 石油化学プラント、電力、ガス、インフラ等の事業者による、保全・保安業務へのスマート化技術の活用事例が掲載されている。 ● 電気保安分野においては、特に電力事業者による高所の目視確認の代替のためのドローン活用や、計測データを活用した異常予兆検知システムの導入事例が参考になる。 ● 例えば、「2 スマート化投資のメリット」や「3 スマート化投資の成功要因」では、スマート技術導入によるメリットや成功要因が分類整理されており、技術導入を検討する際に参考になる。また、「4.2 企業別個表」では、スマート化技術の導入経緯から導入効果までが具体的に記載されており、スマート化技術の活用イメージを持つことができる。 https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/smart_industrial_safety/jireisyu_h29.pdf
	「スマート保安事例集」（経済産業省）	● 「令和 2 年度第 1 次補正予算産業保安高度化推進事業費補助金」に係る実証事業の成果を基に、保安業界の背景課題とスマート保安の効果、スマート保安に資する新技術導入に係る実務ステップにおける事業者の課題意識と解決方法等が整理されている。 ● 石油化学プラントや水力発電以外の電気保安分野の事例がほとんどではあるが、業界課題やスマート保安の効果、各実務ステップにおける課題と解決事例については、水力発電と共通する部分も多い。 https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/smart_industrial_safety/jireisyu_r2.pdf
	「プラントにおけるドローン活用事例集」（石油コンビナート等災害防止 3 省連絡会議）	● 石油化学プラントの保安におけるドローン活用の実証実験事例や、国内外の企業での活用事例が掲載されている。 ● 電気保安分野においても、電力事業者にとってドローン活用のユースケースを検討する際に参考になる。 ● 例えば、「2 実証実験の事例」では、ドローン運用事業者の選定、飛行目的・飛行計画の設定、リスクアセスメント、実験における確認の実施や記録作成といった実証実験の一連の流れが具体的に紹介されており、電気保安分野でのドローン活用の実証を検討するうえでも参考になる。また、「3 国内企業の事例」、「4 海外企業の事例」では、事例毎に想定したリスク事象、リスク対策、活用の課題点などが記載されており、電気保安分野で技術導入を検討する際にも参考になる。

分類	ガイドライン・事例集名	概要
		https://www.fdma.go.jp/relocation/neuter/topics/fieldList4_16/jisyuhoan_shiryo.html
	「プラントにおけるドローンの安全な運用方法に関するガイドライン」（石油コンビナート等災害防止３省連絡会議）	● 石油化学プラントの保安におけるドローン活用の留意点が整理されている。 ● 電気保安分野においても、ドローン活用の留意点を整理する際に参考になる。 ● 例えば、「第２章 通常運転時におけるプラントでのドローンの活用方法」では、ドローン運用事業者・操縦者・機体の要件や、ドローンの活用にあたってのリスクアセスメントの例など、プラントのみならず発電所等電気設備にも適用できるポイントが多く記載されており、ドローン活用の計画立案時などに参考になる。 https://www.fdma.go.jp/relocation/neuter/topics/fieldList4_16/jisyuhoan_shiryo.html
	「無人航空機性能評価手順書」（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）	● ドローンの性能評価の指標を設定し、ドローン機器の性能をランク付けし比較可能な情報が整理されている。 ● 電気保安分野においては、ドローンの活用を検討する際に求められるドローンの性能の検討やドローンの比較に参考になる。 ● 例えば、「4.3 耐風性能」では、ドローンが有する耐風性能について気象庁の定める水準との対応関係も含め整理されており、ドローンに求める水準の検討や活用するドローン機体の比較において参考になる情報が記載されている。その他にも、ドローン活用の際に基準となりうる性能について情報が整理されている。 https://www.meti.go.jp/press/2020/05/20200529004/20200529004.html
	水中部点検におけるロボット活用マニュアル（国土交通省）	● コンクリートダム堤体部やダム放流設備を対象として、ROV（Remotely Operated Vehicle）等のロボットを用いた水中部の調査・点検を実施する際の調査・点検対象や手法方法等の基本的な事項について整理されている。 ● 電気保安分野（水力発電設備）においては、導水路・導水管等の水中部の調査・点検に水中ドローンを活用する際、調査・点検の品質・効率・安全性の向上の観点で参考になる。 https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/dam8/pdf/suityubutenken_robot_manual_dam.pdf https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/dam8/pdf/suityubutenken_robot_manual_houryu.pdf

分類	ガイドライン・事例集名	概要
AIの品質評価	「機械学習品質マネジメントガイドライン」（国立研究開発法人産業技術総合研究所）	● 機械学習を利用したシステム・サービスの開発において、目標や基準を設定することによる品質向上や、主体間での共通認識の醸成を目的として情報が整理されている。 ● 電気保安分野においては、機械学習を利用する際の品質設定・確保の参考になる。 ● 例えば、「1.5 実現目標とする外部品質特性」では、機械学習の品質の分類や考え方について記載されており、機械学習を利用したシステムの要件定義を網羅的に行うための参考となる情報が記載されている。 https://www.digiarc.aist.go.jp/publication/aigq/guideline-rev2.html
	「AIプロダクト品質保証ガイドライン」（AIプロダクト品質保証コンソーシアム）	● AIプロダクトの開発における品質保証の考え方について整理されている。 ● 電気保安分野においては、AIを利用したシステムに求められる品質や品質保証のあり方の参考になる。 ● 例えば、「7. 産業用プロセス」では、具体的に産業用プロセスでのAI活用について、AIとそれ以外のサブシステムの関係（7.3）や開発に際しての想定されるステークホルダーの整理（7.4）、具体的な留意点の例示（7.6）など、AI開発・導入において前提となる情報から実際の開発・導入まで検討する際に参考となる情報が記載されている。 http://www.qa4ai.jp/download/
契約	「AI・データの利用に関する契約ガイドライン」（経済産業省）	● あらゆる事業活動におけるデータ契約及びAI技術を利用したソフトウェアの開発・利用に関する契約について基本的な考え方が解説されている。 ● 例えば、データ編ではデータを他事業者提供する場合や、複数事業者が関与することで新たなデータが創出されるようなケースについて契約書の案が、AI編ではアセスメント段階、PoC段階、開発段階、追加学習段階それぞれについてモデル契約書が示されている。また、契約書作成時に生じる疑問に対し、「相談事項および検討の観点」という形でユースケースが紹介されており、電気保安分野でデータ契約、AI技術利活用に係る契約における交渉や契約書作成時に参考になる。 https://www.meti.go.jp/press/2019/03/20200330001/20200330001.html
	「データの利用に関する契約ガイドライン 産業保安」	● データの利用に関する契約について、「AI・データの利用に関する契約ガイドライン」も踏まえ産業保安（特にプラント分野）に特化し考え方が解説されている。 ● 例えば、プラントデータ活用スキームのユースケース、取引事例等が示されているほか、データの保護に関する知的財産権等の法

分類	ガイドライン・事例集名	概要
	版」(経済産業省／国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)	制度、データ不正利用防止措置、プラントデータの管理方法・開示方法に関する義務等、データ利用における留意事項が整理されている。 ● また、契約の対象となるデータの特定、プラントデータの利用態様についての規律等、契約における法的論点について整理したうえで、契約において定めることが望ましい事項について取引事例とともに解説しており、IoT やビッグデータ等の利用を通じて保安のスマート化を進める電力事業者が、データ契約、AI 技術利活用に係る契約において契約書を作成する際に参考になる。 https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2019/4/201904.html

- **ダム水路主任技術者**は、電気主任技術者と同様に、高さ15m未満のダムを有する水力発電所等については統括管理が認められているところ。
- 今般、電気主任技術者の配置要件の見直しが検討されているところ、ダム水路主任技術者についても同様に、**15m未満のダムを有する水力発電所を統括するダム水路主任技術者による確実な指揮監督の下**、適切な担当技術者を配置し、**担当技術者が2時間以内に電気工作物の設置場所へ到達できる場合**については、**担当技術者が勤務する事務所と被統括事業場との距離が2時間以内であればよい**こととしてはどうか。



出所）電力安全小委員会 電気保安制度ワーキンググループ「電気保安人材に係る制度設計の見直しについて」（経済産業省，2022 年 1 月）

図 12 統括管理できる事業所数の上限や到達時間の制限の見直し

第3節 スマート保安導入により期待される効果

スマート保安の導入により、保安管理業務は従来の形から、さらに安全性と効率性の両方を追求した新しい形へと発展していくことになる。そのための新技術の導入にあたっては、当然ながらそのリスクとベネフィットを想定し、スマート保安の活動を通じて、保安レベルの維持・向上が図られているかを節目毎に評価するためのマネジメントプロセスを構築していくことも重要となる。

スマート保安導入に際する課題例としては、技術力低下への懸念、スマート保安を支える人材の不在、通信基盤の制約、サイバーセキュリティへの対応などが挙げられるが、特に費用対効果を（定量的に）示すことが難しいと考える事業者が多い。事実、スマート保安導入による効果を定量的かつ具体的に算定することは、近年の ICT 技術の投資においても散見されるように難しく、多くは事後的に評価が可能となる場合が多い。したがって、こうした費用対効果に関しては、必ずしも定量的（財務的）な指標に限定せず、定性的な効果（非財務的な指標）にも着目して適切な評価指標等を設定し、活動の推進状況や導入効果を「見える化」することによる組織的なガバナンスも並行して整備することで、スマート保安導入に向けた第一歩を踏み出す姿勢が、その推進における要点となっている。

スマート保安導入により期待される効果は、必ずしも保安管理の適切性に限定する必要はなく、設備の効率的利用などの価値創造の観点も含めた組織全体のマネジメント観点から考慮することも重要である。また、対象設備が発電事業用の電気工作物の場合は、自主保安の強化を図る観点から、自社の保安規程に基づく PDCA 活動の中に位置付けてスマート保安の導入を実施することが重要である。このような活動を通じて、例えば、少ない巡視点検の回数であっても保安力の維持・向上が可能であることを論理立てて説明できれば、保安規程に定められた巡視点検の回数を減らすことができる。

スマート保安導入により期待される効果と想定される留意点・課題等の例を表 3 に示す。なお、産業保安分野におけるスマート化により期待される効果については、「スマート保安先行事例集」（経済産業省保安課、平成 29 年 4 月）¹⁰や「令和 2 年度産業保安高度化推進事業スマート保安事例集」（経済産業省）¹¹において、石油精製・石油化学、電力・ガス等の業種の事例が紹介されている。

¹⁰https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/smart_industrial_safety/jireisyu_h29.pdf（閲覧日：2022/2/28）

¹¹https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/smart_industrial_safety/jireisyu_r2.pdf（閲覧日：2022/2/28）

表 3 スマート保安導入により期待される利点（非定量的）の例

期待される効果		スマート化類型との対応例										課題・障壁等
		①監視の常時化・高頻度化・遠隔化：デジタルセンサ、WEBカメラ等	②現場確認の無人化・遠隔化：ロボット、ドローン等	③センシングデータのデジタル化	④作業記録のデジタル化：タブレット等	⑤遠隔伝送：5G	⑥分析の高度化：AI等	⑦現場作業支援：ウェアラブル端末等	⑧遠隔制御	⑨遠隔現場処置：ロボット等	⑩データ共有・ビッグデータ化：プラットフォーム	
保守・点検業務の効率化（省力化・省人化）	遠隔からの監視・操作・指示、点検・監視の自動化、現場作業支援等によって、巡視・点検等に伴う人による作業（現場への移動、現場での目視確認や記録、五感での判断等）の負担を軽減・省略する効果。	○	○	○	○	○		○	○	○		省力化・省人化に伴う保安レベルの低下を防ぐ（保安レベル維持・向上の）ための仕組みづくりが必要。
トラブル対応の迅速化（未然防止・早期復旧）	常時監視や遠隔化（監視・操作・指示）による移動時間の削減、点検・監視の高度化・自動化（閾値逸脱の自動判定等）によって、トラブルの未然防止やトラブル発生時の対応が迅速化される効果。	○	○	○		○	○		○	○		AI等による自動化技術は、人による判断等を完全に代替するまでの水準には至っていない。
異常検知等の精度向上	常時（高頻度）監視やデータ分析の自動化等によるノウハウの定量化・定型化によって、異常検知等の精度（確実性）が向上する効果。	○		○			○				○	精度向上のためには、大量のデータ蓄積と高度な数理モデルが必要となる場合がある。また、異常値の検出等に係る管理水準の検討・整備が必要。

期待される効果		スマート化類型との対応例										課題・障壁等
		①監視の常時化・高頻度化・遠隔化：デジタルセンサ、WEBカメラ等	②現場確認の無人化・遠隔化：ロボット、ドローン等	③センシングデータのデジタル化	④作業記録のデジタル化：タブレット等	⑤遠隔伝送：5G	⑥分析の高度化：AI等	⑦現場作業支援：ウェアラブル端末等	⑧遠隔制御	⑨遠隔現場処置：ロボット等	⑩データ共有・ビッグデータ化：プラットフォーム	
人材育成・技術継承の促進		五感による判断等の属人的なノウハウではなくデータを活用した体系的な学習が机上でも可能となる効果。将来の人手不足による影響の軽減も期待できる。	○	○		○		○				机上での教育に必要な専用のシステムやソフトウェア等を使いこなすためのトレーニング等が必要となる。
労働安全性の向上		遠隔化（監視・操作・指示）や現場作業支援により現場への移動時間や現場での作業時間が減少することで、危険な場所での移動や作業に伴うリスクを低減する効果。	○	○	○	○		○	○	○		険しい山間部等の危険な場所ほどネットワーク基盤が未整備の場合が多く、スマート化技術導入の際、課題となる。
運転管理の高度化		データや AI 等による分析を用いることで、より客観的・定量的な判断・評価が可能となり、人の五感や経験による判断に基づいていた運転管理を高度化する効果。	○	○			○				○	精度向上のためには、大量のデータ蓄積と高度な数理モデルが必要となる場合がある。
その他の副次的効果	人的リソースの有効活用	省力化・省人化によって生じたリソースを保安力の向上等の観点からより重要な業務に集約することができる効果。	○	○	○	○		○	○	○		従来業務からの変更による現場からの抵抗が想定される。

期待される効果			スマート化類型との対応例										課題・障壁等
			①監視の常時化・高頻度化・遠隔化：デジタルセンサ、WEBカメラ等	②現場確認の無人化・遠隔化：ロボット、ドローン等	③センシングデータのデジタル化	④作業記録のデジタル化：タブレット等	⑤遠隔伝送：5G	⑥分析の高度化：AI等	⑦現場作業支援：ウェアラブル端末等	⑧遠隔制御	⑨遠隔現場処置：ロボット等	⑩データ共有・ビッグデータ化：プラットフォーム	
的効果	働き方改革への寄与	省力化・省人化による職員の労働時間の減少や休暇取得日数の増加によって職場の働きやすさや職員の満足度が向上する効果。	○	○	○	○	○		○	○	○		
	巡視点検頻度の最適化	生産性や保安力の向上を通じて、従来の巡視点検の業務プロセスを見直すことが可能となる効果。	○	○	○	○	○	○	○	○	○	例えば、巡視点検頻度を減らした場合にも保安力が維持されることの確認が必要になる。	

第3章 水力発電設備における保安管理業務のスマート化計画の策定

第1節 スマート化計画の進め方

スマート化計画の策定にあたっては、スマート化によって達成したい目的（期待される効果）を明確化しておく必要がある。目的の明確化のためには、自社における水力発電設備の保安管理業務が直面する課題や事業環境の変化を正しく認識し、その上で、課題や変化に対応するスマート化技術とその効果を検討し、導入に向けた計画を策定することが重要である。

一方、水力発電設備の保安管理業務を対象としたスマート化技術の導入事例は限られており、自社における費用対効果の見極め等、計画策定の参考となる情報が少ないのが実情である。このため、スマート化の進め方としては、まずはスモールスタートで技術導入に着手し、その効果を確認しながら段階的な導入に移行することが望ましい。つまり、対象となる発電所・設備・保安管理業務等を限定して小規模な導入で効果を見極めた上で、徐々に規模を拡大していき本格的な導入に移行する進め方が考えられる。また、スマート化は、予算・工期等の面から決して小さくない規模のプロジェクトとなるため、経営層による自社スマート化方針の提示や現場ニーズの適切な把握により、組織横断的に取り組むことも重要である。

なお、第2章第3節にて紹介した「スマート保安先行事例集」（経済産業省保安課、平成29年4月）¹²では、石油精製・石油化学、電力・ガス等を含む6業種25社におけるスマート化技術導入成功要因が紹介されており、水力発電設備における保安管理業務のスマート化計画の進め方においても参考になる。

¹²https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/smart_industrial_safety/jireisyu_h29.pdf（閲覧日:2022/2/28）

第2節 スマート化計画の策定における留意事項

スマート化計画の策定に際して考慮すべき事項や課題としては、以下の点が考えられる。

1 保安全管理業務の現状把握

スマート化の目的（期待される効果）を明確化し、スマート保安導入に向けた計画を策定するにあたって、はじめに自社の水力発電設備における保安全管理業務の現状を適切に把握する必要がある。設備毎、機器毎の巡視点検内容（目的、方法、点検・検出項目、頻度、時間、コスト等）を整理し、スマート保安によってより効果的な巡視点検が可能となる項目、巡視でしか確認できない項目、スマート化による補完性や代替性、スマート化技術と人間や従来手段を併用する場合の役割分担について検討する。

2 スマート化に伴う変化の把握

スマート化によるメリットとしては、保安力の維持・向上を第一として、作業の効率化や設備利用率の向上、作業の合理化・省力化といった副次的な効果も考えられる。一方、デメリットも存在し、スマート化計画の検討においては、まずスマート化によってどのような目的を達成したいのかを明確にした上で、スマート化に伴って期待・予想されるメリット（表 3）だけでなく、デメリットも洗い出し、両者を比較検討することが重要である。

例えば、センサーを通じた遠隔監視は、保守員が現場を訪れることなく設備・機器の巡視点検を可能とする作業の合理化・省力化といった効果が期待される一方、現場作業での経験値・ノウハウを得る機会の減少や技術力の低下といったデメリットが考えられる。しかしながら、スマート化によって、これまでは現場作業員の暗黙知として属人的に把握されてきたノウハウを客観的な情報やデータとして標準化することも可能であり、それらを有効に活用することで保安力の維持・向上を図ることも可能である。このようなスマート化に伴う変化の内容は、地域・組織のおかれた状況によって大きく異なる可能性があるため留意が必要である。

3 費用対効果

スマート保安のための様々な設備投資や人材確保のためには、新たな投資が必要な場合がほとんどであり、予算の確保が重要となる。水力発電設備における保安全管理業務のスマート化のためには、一定規模の投資が必要となるため、費用対効果の観点から経営層への説明が必要となる。

費用については、Web カメラや各種センサー類などのハードウェアの導入費用、データや映像の伝送・表示システムの構築費用、ネットワーク基盤の整備費用等のインシャルコストを把握することに加え、これらのハードウェア・ソフトウェアの維持・更新費用（ランニングコスト）やリプレイスコストについても想定しておくことが望ましい。

スマート保安導入の効果については、巡視点検回数や計画外停止回数の減少、さらには、このような効率化に伴う人件費の削減効果等のように定量的（財務的）に示すことができると説明性が高いと言える。しかしながら、第2章第3節に示したように、スマート保安が十分に普及していない現時点では、先行事例等を参考にスマート保安の費用対効果を定量的に示すことが難しい場合がある。この場合、定性的な効果（非財務的な指標）に着目し、スマート保安導入のメリットを説明することが現実的である（表 3）。また、事業環境や発電事業の重要性を鑑みて、たとえ費用が掛かったとしても、保安力の維持・向上のためにスマート化が必要と判断することもできる。例えば、少子高齢化・人口減少に伴い、近い将来において保守員の確保が困難になることが予想される中でも保安力を維持する必要がある場合や立地特性として従来から風水害による被害が大きく、より高い保安力が求められる場合、エネルギーの自律分散化（災害に強い地域づくり）やカーボンニュートラルへの貢献が求められる場合等、事業

環境によっては、必ずしも費用対効果だけにとらわれずスマート保安の導入を決定するケースもあり得る。

4 人材確保・育成・技術継承

保安全管理業務のスマート化計画を企画策定・推進・維持管理していくためには、デジタル技術の利活用に関して豊富な経験や知見を有する「デジタル人材」の確保・育成が不可欠である。ここで、保安全管理業務のスマート化に必要な人材に求められる知識や技術の内容やレベルは、導入対象となるスマート化技術によって異なることに留意する必要がある。例えば、AI による設備・機器の異常検知や水中ドローン等の先進的な技術を効果的に活用するためには、既存の保安全管理業務とは異なる種類の非常に高いレベルの知識が必要となるが、タブレットや Web カメラの導入等であれば、比較的基礎的な知識とその応用により十分に対応可能な場合も多いと考えられる。第 2 章第 2 節 2 に示したように、保安全管理業務のスマート化は関連する要素技術の確立の状況に応じて段階的に行われていくことから、まずは既存の人材で対応可能なスマート化技術から導入をはじめ、その間に、組織内での人材育成や新たな人材確保の方策を検討するといった計画も考えられる。また、自組織内の人材だけでスマート化を進めることは難しく、実際には、社外のベンダー等の協力も得ながら技術の選定や導入を進めることを想定しておくことが重要となる。

なお、スマート保安に関わる人材育成に活用可能な研修の一例として、「IoT/AI 人材育成講座（日本能率協会）」¹³がある。本講座は、電気保安に特化した内容ではないものの、IoT/AI 技術を生かし、製造・保安の現場等における業務の生産性を向上させ、組織横断で事業所内の課題を分析し、課題解決のために IoT 技術導入を推進していく人材を育成することを目的としたプログラムである。製造・保全部門や電気設備・管理・設計リーダー層を受講者として想定し、講義や他企業とのグループディスカッションを通じて実践的なスキルを獲得する場を提供している。講座を通じて達成する目標として以下の項目が掲げられている。

- IoT 全般に関する知識を基に具体的な課題に対し、他の技術者と共に対応策を企画・実装・運用できる人材を育成する。
- IoT 技術の全体像を認識できる
- 各 IoT 要素技術の実力を認識する
- 自社の製造現場などでの IoT 技術導入の判断が可能になる
- IoT 技術を導入・実装し、運用する組織能力が高まる

また、近年では、IoT、AI、ネットワーク・セキュリティ等について学習することができる e ラーニング形式の研修も多数存在する。

「2 スマート化に伴う変化の把握」で述べたように、スマート化に伴い、水力発電設備の保守に関わる現場作業での経験値・ノウハウを得る機会の減少や技術力の低下といったデメリットも考えられることから、スマート化技術に特化した人材の育成だけでなく、既存の保安全管理業務に関する経験・ノウハウを維持するための育成が必要となるケースがあることにも留意が必要である。従来、保安全管理業務に関する人材育成は、現場での指導を基本とする OJT により行われてきたが、ベテラン職員の退職やスマート保安の普及に伴う現場経験の機会減少等により、育成方法についても工夫が必要となる。例えば、研修において、センサー等で取得した測定値の履歴を用いることで、よりリアリティのある教材とすることや、事務所にいるベテラン保守員から現場の保守員に対してウェアラブルカメラを通じた遠隔による指導等が考えられる。

¹³ https://school.jma.or.jp/products/detail.php?product_id=151246（閲覧日：2022/2/28）

5 ベンダーとの折衝

スマート保安の導入においては、これまでに取り扱った経験の無い設備・機器を扱うことになるケースが多く、事前に複数のベンダーへの聴き取り調査等を通じて、技術的な実現性や費用感を把握しておくことが重要である。また、新たに導入する設備・機器等は、可能な限り汎用性のあるものとした方が望ましいが、既存の設備・機器等との兼ね合いにより、導入可能な設備・機器等が限られてくるケースがあることに留意する必要がある。また、現時点では、スマート保安に必要な設備・機器を取り扱い可能なベンダーが限られていることから、導入する設備・機器等が特定メーカーの固有技術となり事業者側の選択肢が限られてしまうこともある。さらに、既存の設備・機器等からデータを外部に取り出す等の改造を施した場合、メーカー保証が維持できなくなる恐れがあることにも留意が必要である。

6 ネットワーク基盤・セキュリティ対策

保安全管理業務のデジタル化を推進していくためには、組織内の必要拠点間でデジタルデータの共有を実現する必要がある。堅牢なネットワーク基盤やセキュリティ対策が必要となる。このようなネットワーク基盤・セキュリティ対策の有無はスマート保安計画全体に大きな影響を及ぼすため、発電所及び管理事務所のネットワーク基盤の整備状況やセキュリティポリシーの内容を把握する必要がある。

多くの水力発電所が立地する山間部においては、ネットワーク基盤が十分に整備されていないケースも多々あり、スマート保安の導入においては、新たなネットワークの構築や回線容量の増強等の費用や工期が発生する可能性があることに留意する必要がある。また、セキュリティの観点から、監視系と制御系ネットワークの分離や監視・制御系データは業務情報を扱うネットワークから独立させる等の対応が必要になると考えられる。このようにセキュリティポリシーを踏まえたシステム構築を行う必要があることに留意する必要がある。

サイバーセキュリティに関しては、電力制御システムセキュリティガイドライン（JESCZ-0004(2019)）に準じた対応が望ましい。電力制御システムセキュリティガイドラインの PDCA サイクルを回す際に必要となる情報収集（他ネットワークとの接続点の確認、ログ採取箇所の確認）が重要である。

第3節 スマート化計画の策定のためのチェックリスト

スマート化計画を策定するためには、前述のスマート化計画のための「目的」「留意点」「課題」などに関して、各組織の状況を踏まえた内容を検討する必要がある。スマート化計画を策定するにあたり、本ガイドラインが示すスマート化の目的、留意事項、制約事項を踏まえた検討ができていることを確認するためのチェックリストの例を示す。

第3章第2節で整理した「スマート化計画の策定における留意事項」の6つの観点毎に設定したチェック項目例を、導入するスマート技術によらない共通項目として表4に示した。さらに、導入技術毎に追加で設定することが望ましいチェック項目の例を表5に整理した。スマート化計画策定においてチェックリストを作成する際に参考情報として活用いただきたい。

表 4 保安管理スマート化計画のためのチェックリストの例－共通項目

項目			チェック欄	参考情報
共通	保安管理業務の現状把握	自社の水力発電設備における保安管理業務の現状を把握し、既存業務とスマート化する業務との住みわけは検討できているか		・ 第3章第2節1 保安管理業務の現状把握
共通	スマート化に伴う変化の把握	スマート化により達成したい目的は明確になっているか		・ 第3章第2節2 スマート化に伴う変化の把握 ・ 表3 スマート保安導入により期待される利点（非定量的）の例
		スマート化に伴って期待・予想されるメリット・デメリットを比較検討しているか		・ 第3章第2節2 スマート化に伴う変化の把握 ・ 第3章第2節4 人材確保・育成・技術継承
		保安レベルは低下しないか（スマート化環境に合わせた保安レベル維持・向上のための仕組み作り等）		・ 第3章第2節2 スマート化に伴う変化の把握 ・ 「表3 スマート保安導入により期待される利点（非定量的）の例」-「保守・点検業務の効率化」の課題・障壁等
		技術員が行ってきた保安業務の代替として十分な機能を有しているか（現場での点検業務を完全に代替するまでの技術水準に至っていない場合の対応策検討等含む）		・ 第3章第2節2 スマート化に伴う変化の把握 ・ 「表3 スマート保安導入により期待される利点（非定量的）の例」-「少子高齢化等による人材不足の解消」の課題・障壁等
		導入機器が故障した場合のバックアップ、多重防護に関する検討は十分か（修理中の運転への影響有無等）		
共通	費用対効果	経営戦略や事業計画と整合したスマート化導入計画となっているか		・ 第3章第2節3 費用対効果
		機器購入、設置工事費用等のインシヤルコストを把握しているか		
		ハードウェア・ソフトウェアの維持・更新費用（ランニングコスト）やリプレイスコストは検討しているか		
		効率化に伴う人件費の削減効果等のように定量的（財務的）に示しているか		
		スマート保安導入のメリットの定性的な効果（非財務的な指標）を具体化・設定しているか		・ 第3章第2節3 費用対効果 ・ 表3 スマート保安導入により期待される利点（非定量的）の例

項目			チェック欄	参考情報
共通	ネットワーク基盤・セキュリティ対策	発電所及び管理事務所のネットワーク基盤の整備状況を把握し、必要な改修要件が明確になっているか		・ 第3章第2節6 ネットワーク基盤・セキュリティ対策
		セキュリティポリシーを踏まえたスマート化のためのシステムが検討・構築できているか		
		既存ネットワークの仕様で導入する機器が性能を十分に発揮できるか（回線速度等）		
		電力制御システムセキュリティガイドライン（JESCZ-0004(2019)）を確認したか		
		配線、ケーブル仕様は問題ないか		
		ログ採取の場所は適切か（トラブル発生時の原因究明、再発防止策検討時にログが必要。複数個所での採取が望ましい。）		
		ネットワークに接続されている他機器の確認を行っているか（同じネットワークにどのような機器が繋がっているか等）		
		自然災害等により通信が途絶した場合の影響確認は行っているか		・ 「表3 スマート保安導入により期待される利点（非定量的）の例」-「立地周辺地域の安全性向上、防災・減災の強化」の課題・障壁等
		自然災害等により通信が途絶した場合の対応手順について検討しているか		
共通	ベンダー折衝	事前に複数のベンダーへの聴き取り調査をし、技術的な実現性や費用感は把握できたか		・ 第5章第3節5 ベンダーとの折衝
		既存の設備・機器等との整合性に問題はないか		
		既存の設備・機器等の改造を施す場合、メーカー保証のリスク及びその対応は検討したか		
		設備・機器の要求仕様は明確になっているか		

項目			チェック欄	参考情報
共通	人材確保・育成	導入するスマート化技術の専門性に合わせた適切な人材確保は可能か		- 第3章第2節4 人材確保・育成・技術継承 「表 3 スマート保安導入により期待される利点（非定量的）の例」-「少子高齢化等による人材不足の解消」、「人的リソースの有効活用」の課題・障壁等
		段階的なスマート化の計画の中で、組織内での人材育成や新たな人材確保の方策を計画し実行可能か		第3章第2節4 人材確保・育成・技術継承

表 5 保安全管理スマート化計画のためのチェックリストの例－導入技術毎個別項目

項目			チェック欄	参考情報
個別	新規センサー追加	最適な方法か（既存のアナログ計器のカメラによる自動読み取り等との比較）		
		性能、耐用性は十分か		
		データ取得頻度、データ容量等の見積りは適切か		
個別	ネットワークカメラの設置	性能※、耐用性は十分か ※設置場所、設置位置、撮影範囲、ズーム機能、（可動式の場合）可動域の確認は十分か		
		明るさ、温度、湿度等の影響確認は十分か		
個別	遠隔伝送、遠隔監視制御	異常値の検出に係る管理水準の検討・整備は十分か		・ 「表 3 スマート保安導入により期待される利点（非定量的）の例」-「リアルタイム監視による設備等異常の早期発見」の課題・障壁等
個別	クラウドサービス導入	どの業務をクラウドサービスで行い、どの情報を扱うか検討し、業務の切り分け、運用ルールを明確にしているか		・ 中小企業のためのクラウドサービス安全利用の手引き、独立行政法人情報処理推進機構セキュリティセンター、 https://www.ipa.go.jp/files/000072150.pdf
		クラウド導入のメリットを確認したか		
		クラウドサービスで扱う情報の漏洩、改ざん、消失やサービス停止の影響を確認したか		
		組織ルールとクラウドサービス活用の間に矛盾、不一致等がないか確認したか		
		クラウドサービスを提供する事業者は信頼できるか		
		サービスの稼働率、障害発生頻度、障害時の回復目標時間などのサービス品質保証は充実しているか		

第4章 水力発電設備における保安管理業務のスマート化技術の運用

第1節 スマート化技術の運用フェーズの進め方

スマート化計画に従い、導入技術の選定、現場設置等の実装、仕様・技術要件への対応の確認を終えた後、スマート化技術の運用フェーズに進むことになる。運用フェーズでは、主に以下の事項に留意しつつ取り組むことが重要である。

- 導入技術による効果の定期的な評価
- 導入効果に関する評価結果を踏まえた技術の継続的な維持・管理（運用を通じた課題の抽出や機能の追加・改善等に関する活動全般）
- 導入したスマート化技術を組織内に浸透させるための取組やスマート化技術導入によって懸念される現場感や技術力の低下を防ぐ取組（技術の浸透や人材育成）

第2節 スマート化技術の運用フェーズにおける留意事項

前節に示した運用フェーズでの主な取組事項について、想定される課題や留意事項について示す。

1 導入技術による効果の測定

当初計画した期待する効果（表3に例示）に対して、実際に得られた効果を評価・把握することは、継続的に技術を維持・管理していく上でも重要である。また、導入によって得られた実際の効果が明確化されることで、成功体験としての認識が組織内に浸透し、さらなるスマート化の促進が期待できるため、出来るだけ定量的な指標として導入効果を表現できることが望ましい。表3に例示した期待される効果を定量的に表す指標の例を表6に示す。

表6 導入効果を定量的に表す指標の例

期待される効果	効果の概要	効果を定量的に表す指標の例
保守・点検業務の効率化（省力化・省人化）	遠隔からの監視・操作・指示、点検・監視の自動化、現場作業支援等によって、巡視・点検等に伴う人による作業（現場への移動、現場での目視確認や記録、五感での判断等）の負担を軽減・省略する効果。	・ 現場への移動回数、要した時間・人員数（人日） ・ 現場作業（巡視・点検を含む）の回数、要した時間・人員数（人日） ・ 現場での巡視・点検項目数（遠隔監視可能な項目数） ・ プラント挙動の把握・確認ができる期間 ・ 発電所数に対する保守要員の数
トラブル対応の迅速化（未然防止・早期復旧）	常時監視や遠隔化（監視・操作・指示）による移動時間の削減、点検・監視の高度化・自動化（閾値逸脱の自動判定等）によって、トラブルの未然防止やトラブル発生時	・ 特定のトラブル事案への対応に要した時間（異常検知から復旧に要した時間） ・ トラブルによる設備停止時間 ・ 設備停止時間の短縮による発電電力量

期待される効果	効果の概要	効果を定量的に表す指標の例
	の対応が迅速化される効果。	の増加 ・ 早期復旧による洪水電力量の削減
異常検知等の精度向上	常時（高頻度）監視やデータ分析の自動化等によるノウハウの定量化・定型化によって、異常検知等の精度（確実性）が向上する効果。	・ （新たに導入したシステム等を通じて）設備・機器の不具合を検知した回数 ・ トラブルの発生回数（異常検知によるトラブルの未然防止回数） ・ 計画外停止の回数
人材育成・技術継承の促進	五感による判断等の属人的なノウハウではなくデータを活用した体系的な学習が机上でも可能となる効果。将来の人手不足による影響の軽減も期待できる。	・ 整備したマニュアル等の数（熟練者が有するノウハウの形式知化） ・ 研修実施回数・参加者数 ・ メーカー等への技術依存度（外部委託金額）
労働安全性の向上	遠隔化（監視・操作・指示）や現場作業支援により現場への移動時間や現場での作業時間が減少することで、危険な場所での移動や作業に伴うリスクを低減する効果。	・ 現場への移動や現場作業での労災事案等（軽微なものを含む）の回数 ・ 山間部等の危険箇所を通行する移動回数・時間（人日）
運転管理の高度化	センシングデータの分析（AI等）による流入量予測結果に基づき、運転計画立案の自動化・最適化を図る効果。	・ 流入量予測や運転計画立案に要していた業務量の削減効果 ・ 計画電力量との相違により発生するインバランスの低減効果

「保守・点検業務の効率化（省力化・省人化）」や「トラブル対応の迅速化（未然防止・早期復旧）」の実例として、長野県企業局において、ニードル弁の故障が起きた際、従来であれば原因調査、特定、解明及び早期復旧対応のため現場に出向く必要があったが、特定のニードルの動作速度が低下していることが、制御所の開度等のデータトレンドで確認可能となり、迅速な対応（詳細図面や資料が揃っている制御所ですぐに机上の原因調査と応急対応方法検討）ができたといった事例が挙げられている。最終的な復旧のためには現場での作業が必要だったが、スマート化技術の導入により、原因調査の段階で迅速な対応が可能になっている（第5章第1節8）。また、山梨県企業局においては、リモート I/O の導入により、発電所の除塵機やゲートの異常停止（ゴミ詰まり等）を遠隔操作で複数回復した実績がある。現場への移動に要していた労力（2 名が往復 4 時間、険しい道中による肉体的な負担も大）が無くなり、職員の「労働安全性の向上」にも寄与していると言える（第5章第2節8）。

「巡視点検頻度の最適化」として、北海道電力では、発電所の遠隔モニタリングシステム（保守支援装置）による効果（水力発電所の設備情報を収集・遠隔伝送して、可視化可能。設備故障の 6～8 割を予兆段階で検知。）を踏まえ、巡視頻度の延伸（月 2 回だったものを月 1 回に変更）や定期点検頻度の延伸（例えば 3 年に 1 回だったものを 6 年に 1 回とする等、2 倍程度の延伸）を検討することができている。また、保守支援装置によりオーバーホール（OH）間の運転状況を把握し、OH の検査結果と組み合わせることで、周期の延伸（2 倍程

度の延伸)を検討することができている(第6章第2節)。

なお、費用対効果を測定するための考え方として、システム等の導入費用(初期費用)、年間当たりの導入効果及び維持管理費から、初期投資に要した費用の回収期間を指標として用いる例がある。

$$\text{経費回収年[年]} = \frac{\text{導入費用[円]}}{\text{導入効果[円/年]} - \text{維持管理費[円/年]}}$$

また、このような定量的な効果以外にも、従来にはできなかったことがスマート化技術により可能となる「質的な効果」も重要である。「質的な効果」の例を以下に挙げる。

表 7 スマート化技術導入による「質的」な効果の例

期待される効果	「質的」な効果
保安力の向上	・ 熟練技術者の五感・経験に頼っていた判断等が、データに基づく客観的・論理的な判断に代わることで確実性が向上する。 ・ トラブル等の発生後、駆け付け要員が現場に向かう間、制御所で事前に設備・機器の状態を把握することができ、さらに、把握した状態を基に遠隔からの作業指示も可能となる。 ・ データは遠隔で取得・保存できているため、現場での確認・記録の手間が不要となり、より五感に特化した巡視が可能となる。
人材育成・技術継承の促進	・ 熟練技術者の五感・経験を裏付けるデータを訓練等に用いることで、若手技術者の理解度・技術力が向上する。 ・ データを活用することが仕事の精度向上に繋がるという気付きが得られる(データリテラシーの向上、データを活用する文化の醸成)。 ・ AIやドローン等の先端技術を活用した職場であることが、職業としての魅力向上に寄与し、人材獲得上のアドバンテージとなる(学生から魅力的に映る)。
働き方改革への寄与	・ 省力化・省人化による職員の労働時間の減少や休暇取得日数の増加によって職場の働きやすさや職員の満足度が向上する。
人的リソースの有効活用	・ 省力化・省人化によって生じたリソースを保安力の向上等の観点からより重要な業務に集約することができる。

2 導入技術の継続的な維持・管理

導入したスマート化技術については、導入効果の評価結果も踏まえつつ、運用を通じて導入技術に係る課題の抽出や機能の追加・改善等を継続的に検討することが重要である。第5章では、「令和2年度補正産業保安高度化推進事業費補助金事業」における水力発電設備を対象としたスマート化技術実証の中で、各事業者が直面した技術的な課題と課題への対応についての事例を掲載している。ここでは、その事例に基づき、導入した技術別に想定される主な課題や課題への対応、留意点について示す(表8)。なお、導入したスマート化技術への機能追

加・改善の検討や導入技術に関するトラブルへの対応においては、社外ベンダー等との連携が導入フェーズに引き続き重要となる。また、運用時のリスクを低減する観点からは、自組織内の人材においてもある程度の知識を身に付け、トラブルに対応できる体制を構築しておくことが望ましい。

表 8 スマート化技術の運用における課題や課題への対応、留意点の例

導入技術	課題や課題への対応、留意点の例
ネットワーク整備・ネットワークカメラ設置	- 無線LANの整備やカメラ設置については、計画時に想定した必要範囲をカバーできているか（通信の安定性が確保されているか、カメラの死角となる場所が無い）の確認が必要となる。 - 無線LANアクセスポイントやカメラの増設に際しては、設備の導入・保守費用に加え、通信量の増加も考慮する必要がある。 - クラウドサービスを利用する場合、オープンなサービスを利用すればコストは抑えられるが、セキュリティ面で不安が生じる。
ウェアラブルカメラ	事務所にいる熟練技術者から現場への遠隔指示や、事務所にいながら現場状況の確認を可能するものだが、機器仕様によっては画面酔いといった運用面での課題が生じる可能性がある。
センサー追加	センサーの取り付け位置は、環境条件や危険性など十分に配慮して取り付ける必要がある。特に屋外に設置される場合は、積雪や気温、降雨の影響など設置される場所の気象条件、屋内に設置される場合は、温度や湿度、水位や圧力の変化など、環境条件についても十分配慮する必要がある。
データの見える化・分析	- 取得したデータのトレンドを運転経験に基づいて設定した閾値と照らし合わせることで、異常の兆候を早期に検知することができる。より精度の高い検知のためには、例えば、閾値を上限値・上上限値のように多段階で設定することや、複数のデータトレンドから複合的に異常の有無を判断する等の工夫が必要となる。 - また取得したデータに含まれるエラー値や外れ値を識別しクレンジングする等の対応（移動平均との乖離が大きい等の場合は該当データを削除し、前後の値を用いて平均化する等。）も重要である。
監視制御の遠隔化	スマート化技術の導入により、巡視頻度を延伸化した場合、監視制御所から発電所へ出向く間隔が空くこととなるが、発電所までのアクセスルートが正常に機能するように配慮する必要がある。特に、急な故障や警報が発生した際に、発電所までのアクセスルートが積雪や落石などにより、発電所にたどり着けないことがないように注意する必要がある。
AI（学習データの充足）	- 精度の高い予測モデル等を構築するためには、質の良い大量の学習データが重要となる。例えば、異常検知モデルのように、従来とは異なる状況下での予測モデルを構築するためには、異常時等の通常とは異なる運転状態でのデータの充足が必要となる。また、データの規格が統一されていない等の課題も想定される。 - 学習データの充足のため、発電所のリプレース等のタイミングを利用して試験的にデータを取得するといった対応が考えられる。

導入技術	課題や課題への対応、留意点の例
AI（環境要因による誤認識）	- 例えば、計器表示値の自動読み取りAIを活用する場合、精度の高いモデルであっても、自然光の入り方などの環境要因により、誤認識が生じる可能性があることに留意が必要である。 - この場合、環境変化に応じてAIをチューニングするアプローチではなく、常に同じ環境を維持する（自然光を遮断する等）等のアプローチも考えられる。

遠隔監視システムを通じて、水力発電所の機器状態（動作や物理量のトレンド）や故障情報（故障発報データ）の見える化が可能となった場合でも、機器等の不具合の予兆を分析し、対応判断することは、熟練技術者のノウハウに依存する部分も多いことが課題として認識されている。このような課題に対して、複数の事業者から機能を高度化するための取組・工夫が挙げられている。例えば、長野県企業局や中国電力は、見える化したデータを基に職員が異常の発生を判断することに代わり、AI等が時系列データを傾向分析（平時におけるプラント状態の安定領域からの逸脱を検知）することで異常を検知する技術にも取り組んでいる（第5章第1節7、第5章第4節7）。

3 導入技術の浸透や人材育成

スマート化技術の導入後は、新たな技術を組織内に浸透させるための取組やスマート化技術導入によって懸念される現場感や技術力の低下を防ぐ取組が重要である。それぞれの取組について課題の背景や留意事項を示す。

● 導入技術の組織内への浸透

新しい技術を導入することに対して、一定の抵抗感を持つ関係者が存在する可能性があることに留意する必要がある。このような背景には、慣れ親しんだ業務の内容が変わることや新しく知識・技術を獲得する必要があることへの不安や抵抗感、導入効果が不明瞭な中で業務を進めることへのストレスがあると考えられる。前述の通り、現時点では、導入前の段階においてスマート化による効果が自らが担当する従来の保安業務にどのように影響するかを定量的に分かりやすく示すことは難しい。しかしながら、導入した技術を一定期間使用し、その効果を実感してもらうことができれば、それらが成功体験となり、スマート化に対する理解が促進されるものと考えられる。このような観点からも、導入した技術について運用を通じて定期的に効果（生産性や保安力の向上）を測定・定量化することは重要である。

保安業務に携わる関係者にとっては、スマート化の一環として導入したシステム内部の詳細やデータ解析の理論等を理解することよりも、それらの技術によるアウトプットを発電所の保安に活用するスキル・ノウハウを養うことが重要である。まずは実際にシステム等を利用し慣れ親しむことで、スマート化技術を保安管理業務に活用するという業務スタイルを確立することが重要となる。

なお、運用の初期段階から、専門的かつ高度な技術・知識を持つ人材を十分に配置することは難しいため、ある程度の専門性を有する（スマート化の素養を有する）人材を配置し、着手し始めることが現実的となる。その後の人材確保については、単一部署ではなく、組織大でデジタル職の採用を進める等といった取り組みも考えられる。

● 現場感覚や技術力の低下の防止

スマート化技術の導入によって、現場に出向くことなく、管理事務所などから遠隔かつ常時、設備機器の状態を監視することが可能となる。一方で、データだけで異常の判断やトラブル対応等を行うことは困難であり、現場に出向く機会が減少することが技術力・保安力の低下を招く懸念がある。このため、スマート化技術導入後においても、実際の現場作業とスマート化技術活用のバランスが重要となる。実際に現場にも出向く運用や現場に触れる研修機会を設ける等の取組によって、設備・機器に触れる機会を作ることが、組織として保安力を維持・向上する上では重要なポイントとなる。

第5章 水力発電設備における保守管理業務のスマート化事例

以下に水力発電設備を対象としたスマート化技術実証に関する取り組み事例を示す。本章の内容は、「令和2年度補正産業保安高度化推進事業費補助金」に係る事業（以下、「実証事業」という。）に採択された水力発電事業者へのヒアリングを通じて得た内容を中心に構成されている。

本実証事業は、IoT/AI等の新技術を活用することで産業インフラの安全性・効率性の維持・向上を図るとともに、安全な事業継続を確実なものとし、将来にわたって国民の安全・安心を創り出す仕組みの構築を促進することを目的とし、電力、ガス、石油精製、石油化学、一般化学、高圧ガス、鉄鋼分野で産業保安に携わる事業者やIoT/AI等の新技術を扱う事業者などを選定し、新技術を活用した保安業務の実証を行うものである。

本章各節の1～6は、実証事業開始から約半年が経過した段階においてヒアリングした結果を基に、導入フェーズに関する事項（第3章第2節の各項目）を中心に構成している。本章各節7～8では、実証事業開始から約1年半が経過し、現場設置等の実装を終えた後のヒアリング結果を中心に紹介している。

表 9 実証事業の概要

実証事業	補助事業期間※	参加した水力発電事業者
令和2年度補正（一次補正） 産業保安高度化推進事業費補助金	2020年8月 ～2021年2月26日	長野県企業局（第1節） 山梨県企業局（第2節） 宮崎県企業局（第3節） 中国電力株式会社（第4節）
令和2年度補正（三次補正） 産業保安高度化推進事業費補助金	2021年6月 ～2022年2月28日	長野県企業局（第5節） 徳島県企業局（第6節） 神奈川県企業庁（第7節）

※開始は交付決定月を記載

表 10 実証事業におけるスマート化事例と主な効果

事例名称		期待される効果					
		効率化等 (省力・省人)	トラブル対応 迅速化	異常検知等 の精度向上	人材育成・技 術継承	労働安全性 の向上	運転管理の 高度化
第1節	水力発電所遠隔モニタリング実証事業（長野県）	●	●	●	●	●	
第2節	遠隔監視・指示・操作を用いた水力発電施設保安実証事業（山梨県）	●	●		●	●	
第3節	ネットワークカメラによる発電所等の監視強化実証事業（宮崎県）	●	●			●	
	特定小電力無線通信による曾見川雨量データ伝送実証事業（宮崎県）	●	●		●		
第4節	水力発電IoT・ICT技術適用に関する研究開発（概念実証）事業（中国電力）	●	●	●	●	●	
第5節	令和3年度 AIを活用した水力発電所運転計画支援システム実証事業（長野県）	●					●
第6節	企業局「スマート保安」推進事業（徳島県）	●	●		●	●	
第7節	神奈川県営発電所における遠隔モニタリングシステム構築事業（神奈川県）	●	●	●	●	●	

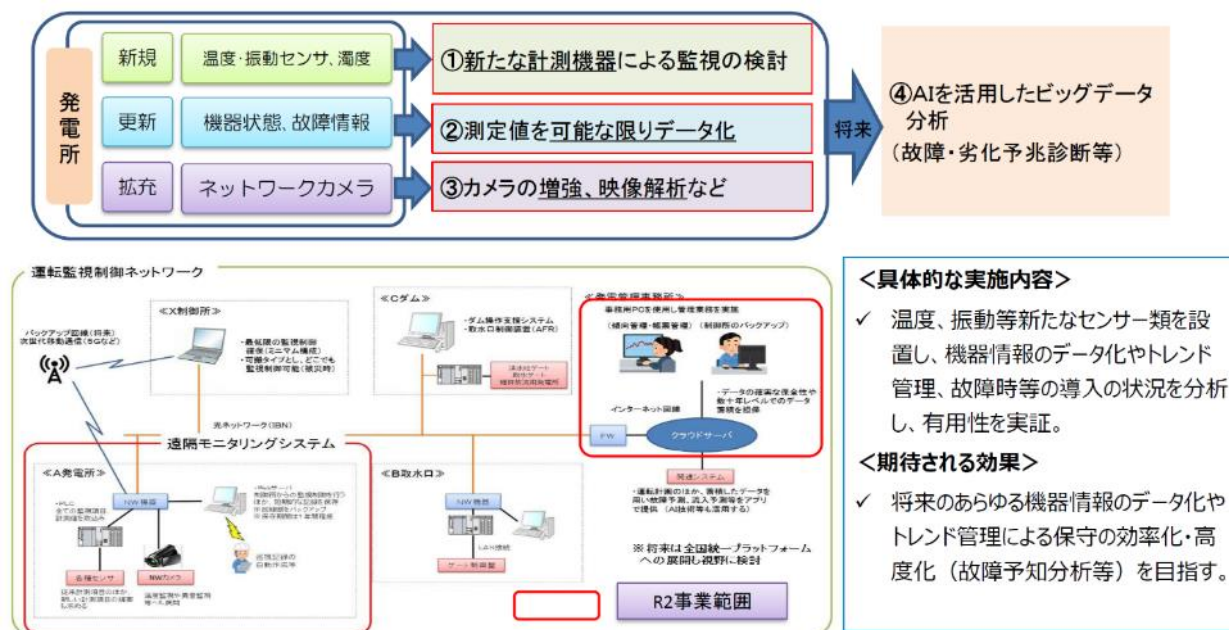
表 11 実証事業者の水力発電事業を取り巻く環境

事例名称		スマート保安導入の背景にある事業環境の主な特徴
第1節	水力発電所遠隔モニタリング実証事業（長野県）	・ 2050年ゼロカーボンに向けた取り組みを推進しており、水力発電事業についても積極的に取組中。 ・ 少子高齢化により将来的な人材確保が難しい中で、水力発電所の建設に人員を充当することや技術継承が主な課題。 ・ 人員不足に対する危機感が強く、経営戦略としてスマート保安の推進に言及。また、長野県庁内にDX推進室を設け、DX戦略を定め、県を挙げてAI・スマート化を推進。
第2節	遠隔監視・指示・操作を用いた水力発電施設保安実証事業（山梨県）	・ 事務所が山間地にあり、現場（取水施設）までの移動が困難（移動に長時間を要する、落石等の危険性がある）。 ・ 今後の人員減少が確実な状況下でも保守管理レベルを維持する必要性について、経営層も理解しており、スマート保安の導入推進を重視。
第3節	ネットワークカメラによる発電所等の監視強化実証事業（宮崎県）	・ 台風災害の多い土地のため、発電所の通信網整備体制が早くから確立されており、自前で通信回線を所有していた実績もある。通信網整備の重要性は、経営と現場の共通認識。 ・ 古くからカメラを通じた監視を実施しており、経営層も導入効果を既に理解・把握済。
	特定小電力無線通信による曾見川雨量データ伝送実証事業（宮崎県）	
第4節	水力発電IoT・ICT技術適用に関する研究開発（概念実証）事業（中国電力）	・ 新たな取り組みを開始する場合には、経営層に対して費用対効果の説明を要する。 ・ 本実証事業に取り組む以前から、計測項目の一部をリアルタイムに自動取得し、遠隔の保守員事務所から一次データを参照できるシステムを構築している。
第5節	令和3年度 AIを活用した水力発電所運転計画支援システム実証事業（長野県）	第1節に同じ
第6節	企業局「スマート保安」推進事業（徳島県）	・ 山間僻地に立地する発電所の保守管理が台風や大雨などの自然条件に左右されるなど、時間的・人的負担が課題と認識されている。 ・ 企業局経営計画において、設備の保守管理等にIoT、ビッグデータ、AI、ロボットなどの革新技術を実装・活用することとしており、若手職員主体の「タスクフォース」が検討を進めている。
第7節	神奈川県営発電所における遠隔モニタリングシステム構築事業（神奈川県）	・ 県の電気事業経営計画において、「保守管理の効率化」及び「業務の集約化」が掲げられており、スマート保安を活用して、その取組を加速化させる方針である。 ・ 庁内での人材流動化が進んでおり、水力発電等の特定分野に特化したベテラン職員が育ち難い環境にあること、若手職員へのノウハウ等の伝承が進んでいないことがベテラン職員の問題意識として挙がっている。

第 1 節 水力発電所遠隔モニタリング実証（長野県企業局）

事業者名：長野県企業局

事業名：令和 2 年度 水力発電所遠隔モニタリング実証事業



出所) 第 4 回 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 電気保安制度ワーキンググループ, 資料 3 水力発電設備の保守管理に係るスマート化ガイドライン策定について

図 13 水力発電所遠隔モニタリング実証事業

1 実証事業の概要

長野県では、水力発電事業自体は昭和30年代から実施しているが、2050年ゼロカーボンに向けた取り組みを推進していることもあり14、水力発電事業をさらに加速しようとしている状況にある。過去には、民営化を推進し、一時的に水力発電所の建設を見合わせていた時期もあったため、現在は人員が不足している。少子高齢化により将来的な人材確保が難しい中で、水力発電所の建設に人員を充当することや技術継承が課題である。

スマート保安により業務効率化や保安レベルの維持を図るため、定期的な巡視点検の自動化やデジタル化とそれらの活用による予防保全を推進したいと考えており、経済産業省が主催するWGに参加し、補助事業が開始されたことを契機として実証事業に取り組んでいるところである。

実証事業で取り組んでいる主な内容は、以下に示す通りである。

¹⁴ 「気候非常事態宣言 -2050 ゼロカーボンへの決意-」について

- データを自動取得し、取得したデータをクラウドに保存、将来的にはデータ解析に役立てることを想定している。
- 新しくセンサー類を実装する。
 - 振動計の実装
 - 冷却水水量の常時監視
 - 画像解析によるメーター数値読み取り

令和 2 年度は、取得したデータをクラウドにアップロードすることによる監視を 2 つの発電所を対象に実施しているが、令和 3 年度以降は実装したセンサー類の実証成果に応じて、全発電所へ展開することを検討している。また制御系についても全発電所に展開し、全ての発電所をネットワークで繋げ、どこでも監視制御できる体制を目指している。



（資料提供：長野県企業局）

図 14 奥木曽発電所水車制御盤の監視画面例



(資料提供: 長野県企業局)

図 15 大鹿発電所の監視画面例

2 期待される効果

- 遠隔モニタリングにより、巡視点検を効率化することが可能である。
- 効率化により保安レベル低下が懸念されるが、将来的には人が現地にいなくても現在と同等以上の保安が自動で可能となるような体制を構築できる。
- 人の五感をセンサー類に置き換えて、あらゆる情報をデータ化することで、保守の自動化を図る。
- 多くのデータを取得し、発電所の運転状態を遠隔から把握することで、不具合等を早期に発見することが可能となり事故の防止に繋がる。
- クラウドシステムの構築により、各発電所のデータ共有が容易となり、柔軟な保守管理が可能となる。
- 現在、監視体制は長野県北部と南部で 2 拠点を構えて運転監視を行っているが、スマート保安化に伴い、

1 拠点で全てを監視できる体制を整備することが可能となる。

3 費用対効果・予算措置

- 人が現場にいて計測するより多くのデータを取得することができ、トレンドを把握することで事故を未然に防ぐことが可能となる等の効果が得られることを期待している。
- 経営層がスマート保安を推進しており、人員不足に対する危機感が強く、巡視回数を減らすことは共通認識となっている。
- 設置する設備の耐用年数は設備に応じて判断しており、県が定める固定資産整理基準から、監視制御に関するものは9年、発電所本体に設置する機械類であれば22年となっている。
- 巡視回数が減ることによる人員コストの低減効果等の検討については、定期的な巡視による不具合等の防止より、多くのデータが取得できることで運転状態を把握し、不具合等を防止できるといった効果の方が大きいと考える。
- 人員確保が課題であり、巡視点検を効率化することで、建設の方により多くの人員を充てられるようになるという効果も期待できる。
- 企業局としてスマート化による効率化を図り、他に発電設備を保有している事業体にも技術提供や協業することも見据えており、長野県としてさらにスマート保安を拡張していく考えも持っている。

4 人材確保・育成・技術継承

【デジタル人材確保・育成】

- スマート化の流れは止められないことを踏まえて、どのような育成をすべきかはこれからの検討課題である。
- 現時点では、担当の中に対応できる人材がいることで進められている。
- 今後どの程度進むかは、その担当の得手・不得手があるため不透明だが、（関連する知見を持った）人材確保は必要である。
- 膨大なデータが必要になるため、全国規模で集積されたデータを解析可能なプラットフォームが整備されることが望ましいと考えている。長野県としては、このようなプラットフォーム上で解析ソフトを利用するユーザーとなるイメージを持っており、AIのための技術者を県として個別に確保するような想定はしていない。
- 実証事業の範囲外だが、ドローンについては研修会への参加及び、研修会参加者による個別指導を実施している。将来的には共通プラットフォームの中で、安価かつ操作も簡単なスマートフォンアプリのようなものを利用するイメージを持っている。メーカーが開発してネットワークと繋げる環境が整えられれば、自分たちはそのサービスを利用し、自ら開発はしなくても良いと考えている。

【保安技術継承】

- 巡視業務を外委託することで、技術が失われる側面もあるため、それを補完するための仕組みを整え、マニュアル作成やバーチャル環境整備も必要である。
- スマート化技術の導入状況に応じて、必要な技術をいかに引き継ぐか精査することが重要である。
- 様々な技術を自動化したとしても、正しいことを整理しないと進まないため、ベテランが持っている技術を活用して自動化を進めていくことが必要である。

5 ベンダーとの折衝

- 導入する機器等の要件として、他発電所への展開、工程の短縮を考慮し、汎用性があるものを選定した。
- 発電所の建設段階では、データの取り出しを外部の共通フォーマットでできるような仕様としていなかったため、今回改めて外部に出力するための加工が困難であった。

6 ネットワーク基盤・セキュリティ対策

【ネットワーク基盤】

- 山間地のため、以前はネットワークが整備されていない状況もあったが、NTT と交渉して整備することができた。
- 取水用の隧道があるため、それを使って自営で光回線を引いている場合もある。
- 現状はほとんどの設備で光回線が整備されている。

【セキュリティ対策】

- 長野県では当初より光回線を整備しており、県のネットワークに加えて VLAN による専用帯域を確保している（行政ネットワークとは分離している）。

7 導入後や運用での課題・工夫

【人材確保・育成・技術継承】

- 現時点では、デジタル人材確保・育成のための研修の場はなく、ある程度の知見・知識を持つ人材を配置し、対応している。一方、DX 推進の一環として、県全体でデジタル職の採用を進めており、企業局にも配属されるように今後調整したいと考えている。
- 長野県の場合、ほとんどの職員が電気職として入局しているが、学生時代に発電を専門に学んだ職員はほとんどいない（電気・電子や物理系が多い）。そのような人材に対しても、スマート化の推進や従来の保安業務に必要な知識・技術を得るための実務経験や研修の機会を提供している。

【技術の維持・管理（導入後の課題・改善事項、工夫等）】

● 遠隔モニタリングシステム

- 遠隔モニタリングでは、データが閾値を超えると警報が出る仕組みを導入している。従来のように、人が現場に出向いて機器の振動から異常の兆候を感じ取ることも重要ではあるが、数値化することも重要である。特に振動は数値化することで分かりやすくなった。
- 閾値は、上限値・上上限値のように多段階で設定し、複数のデータトレンドから複合的に異常を判断する等の工夫を行っている。警報の閾値をどこに設定するかは現在も検討しており、今後は、蓄積したデータを参考に、トレンドから異常の兆候をより早期に検知できるようにしたいと考えている。
- 豪雨により河床が上昇し、放水できなくなる事象が発生した。現状は運転員の感覚で停止するタイミン

グを判断しているが、流入予測を活用することで、河床の上昇量やタイミングを予測し、定量的に判断したいと考えている。

- ネットワーク基盤・セキュリティ対策

- クラウドサービスについて、google などのオープンなサービスであればコストは抑えられるが、セキュリティ面での不安が生じる。現状は、メーカー推奨のクラウドサービスを利用しているが、コスト面やセキュリティ面等を考慮して、どのクラウドサービスが良いか検討している。

- 実証事業以外でのスマート化に関する取組や工夫

- 遠隔で取得したデータは保安のみならず、例えば、帳票や月報の自動作成、AI を用いたデータの傾向管理による劣化診断等の予防保全、運転計画の自動作成や需給の自動調整にも活用することを考えている。
- ドローンについては、細部の点検や被災状況の確認に活用しているが、操作ミスによる破損を恐れて活用が進まないという事態を避けるため、比較的安価なドローンを導入している。
- データ収集のためのプラットフォームとして、発電所監視システムをネットワーク化（取得データのクラウド管理）するための改修を考えている。さらに、長野県の他部署が保有しているデータ（河川、農政等）も合わせて、部局横断でのデータ共有・活用も検討している。

8 導入効果の算定

表 12 に実証事業を通じて評価された「水力発電所遠隔モニタリング技術」の導入効果に関する指標と算定方法を示す。

表 12 水力発電所遠隔モニタリング技術に関する導入効果の算定

カテゴリー	指標	算定方法	算定結果
日常点検・定期検査等の保安業務の安全性担保	回転部付近やカバーの内側等での振動測定が常時測定のため不要となるので、例年との測定回数を比較して判断	例年の測定回数＞事業後の測定回数	1回/年が1回/3年へ減少
	現場での点検回数が減ること、現場での労災や交通事故等の防止につながったかを判断	従来の現場作業移動を含むでの事故回数＞事業後の事故回数（軽微なものを含む）	2～3件/年が0～1件/年へ減少
現場作業の省人・遠隔化	定期的に行っている現場の巡視作業について、遠隔化による省人となったかを判断	従来巡視を行っていた人数＞事業後の巡視を行っている人数	発電所毎に2～4人で行っていた巡視が 0～2人へ減少
		例年の現場巡視回数＞事業後の現場巡視回数	巡視回数が1回/月から1回/2ヶ月～3ヶ月へ期間が延長

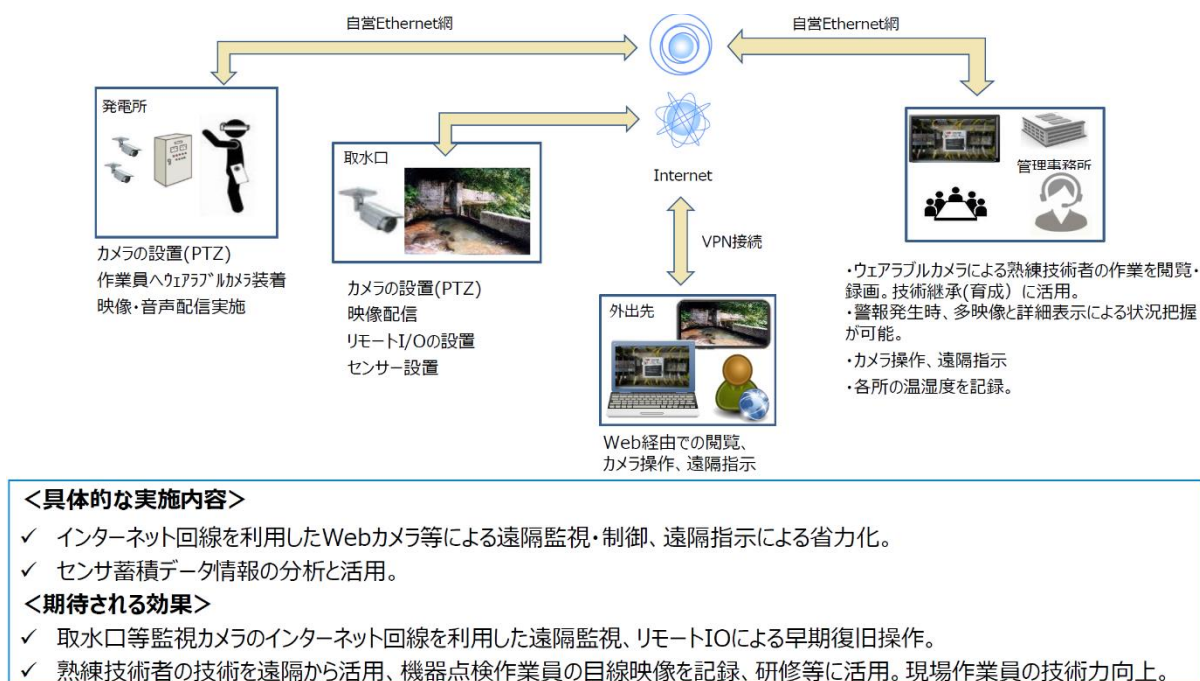
カテゴリー	指標	算定方法	算定結果
	既存の遠方監視システムでは把握しきれていなかったデータをどれだけ新規で取り込めたかで判断	従来の遠方監視項目 ＜事業後の遠方監視項目	従来の121項目から356項目へ増加

導入効果を表す具体事例としては、ニードル弁の故障が起きた際、従来であれば原因調査、特定、解明及び早期復旧対応のため現場に出向く必要があったが、特定（4号まである中の4号）のニードルの動作速度が低下していることが、制御所の開度等のデータトレンドまで確認することができた。そのため詳細図面や資料が揃っている制御所ですぐに机上の原因調査と応急対応方法検討を行うという迅速な対応ができたという実績が挙げられた。最終的な復旧のためには現場での作業が必要だったが、スマート化技術の導入により、原因調査の段階で迅速な対応が可能になっている。

第2節 遠隔監視・指示・操作を用いた実証（山梨県企業局）

事業者名：山梨県企業局

事業名：遠隔監視・指示・操作を用いた水力発電施設保安実証事業



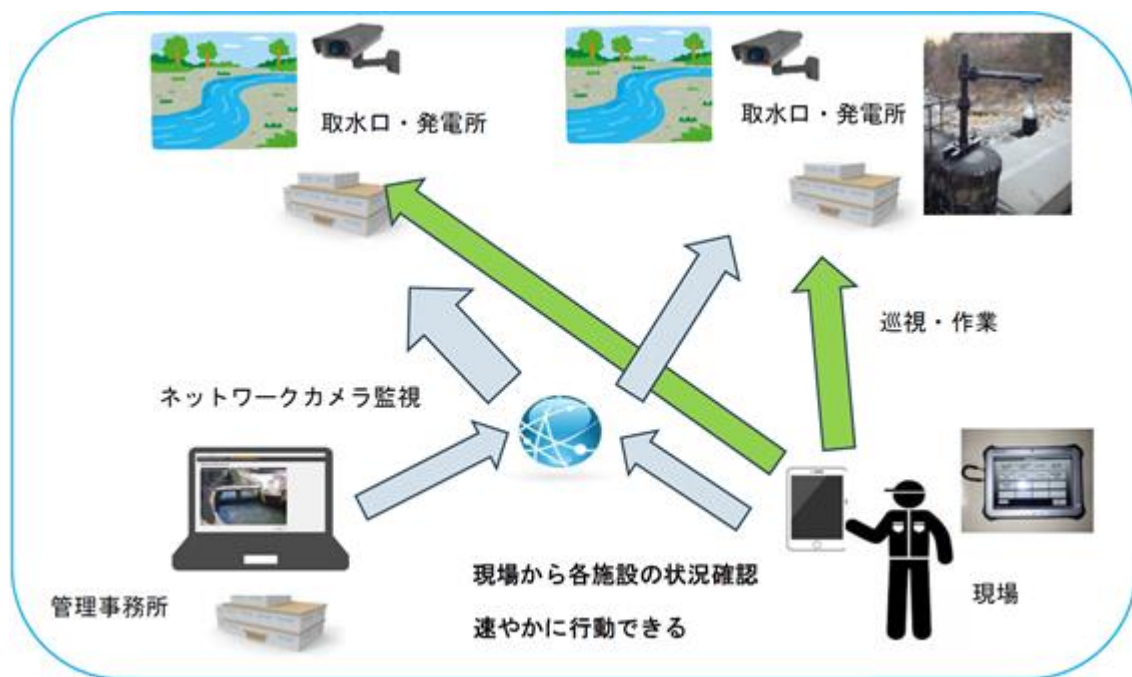
出所) 第 4 回 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 電気保安制度ワーキンググループ, 資料 3 水力発電設備の保守管理に係るスマート化ガイドライン策定について

図 16 遠隔監視・指示・操作を用いた水力発電施設保安実証事業

1 実証事業の概要

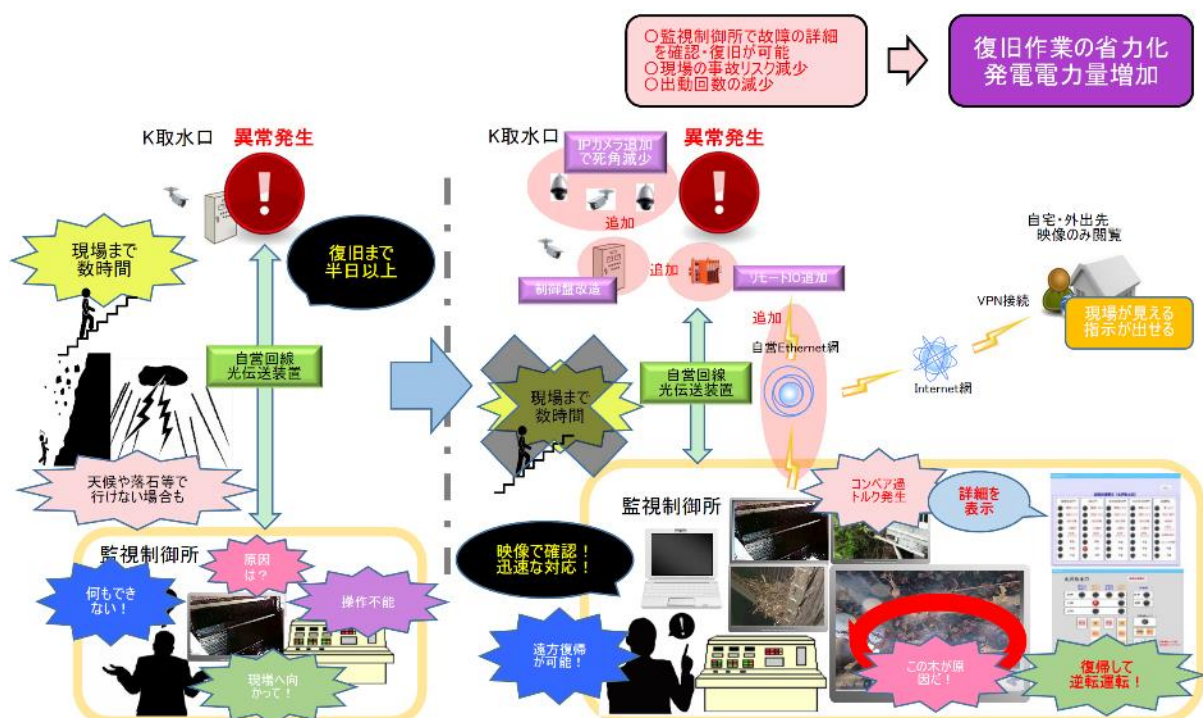
山梨県では、Web カメラ映像、タブレット端末及びリモート I/O 機器を用いた取水施設の遠隔監視・復旧、発電所内通信環境の整備を通じたウェアラブルカメラによる現場職員とのリアルタイム情報共有・遠隔指示を行うための取り組みを進めている。令和 2 年度は特に、早川水系の発電所においてウェアラブルカメラの導入を進めており、令和 3 年度以降は他の発電所に横展開していくことを検討している。

- 設備を遠隔操作するため、現場操作盤シーケンスの改造を直営で行い、既設自営光回線を使用したLANを整備しI/O制御をすることで遠隔での監視・制御を可能とする。
- 取水口（4箇所）と水槽（1箇所）における水門及び除塵機について、遠隔監視と遠隔制御を可能とする。また、これまで故障発生時における復旧方法は現場での復旧のみであったが、現場盤とほぼ同程度の状態監視と制御項目を作成することで遠隔での復旧対応を可能とする。



(資料提供：山梨県企業局)

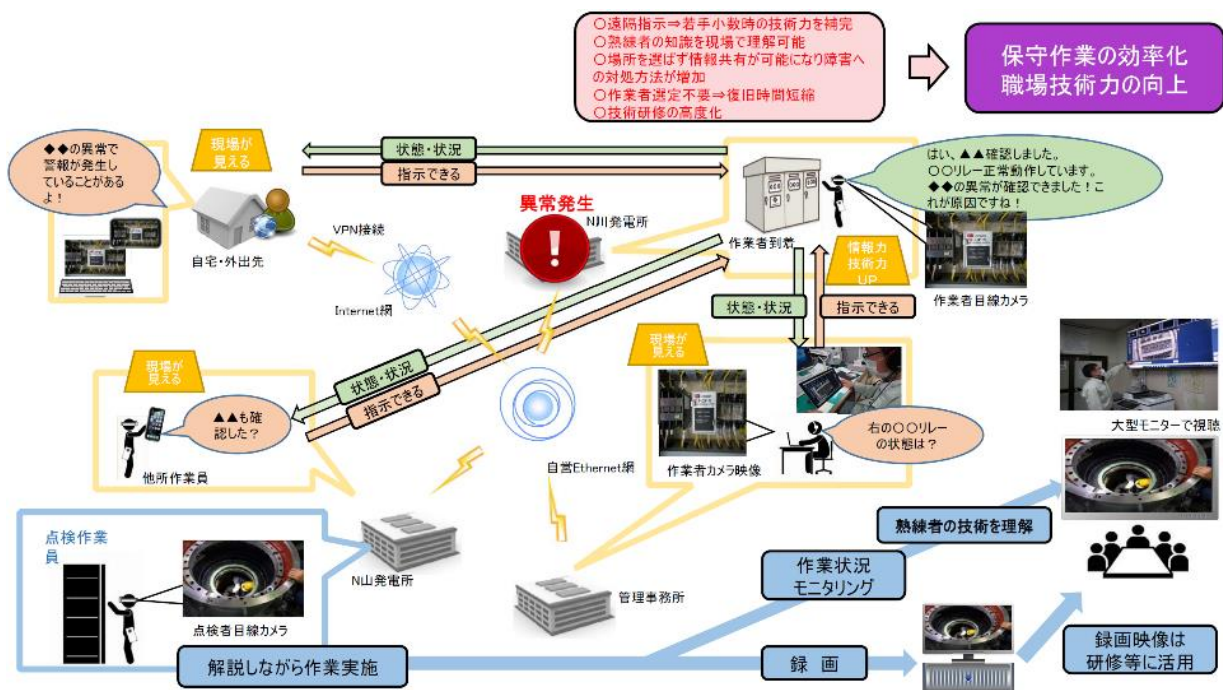
図 17 実証事業① インターネット回線を利用した遠隔監視（笛吹川水系）



(資料提供：山梨県企業局)

図 18 実証事業② インターネット回線を利用した遠隔監視、リモート I/O による復旧操作

(早川水系)



(資料提供：山梨県企業局)

図 19 実証事業③ 熟練技術者の技術を遠隔から活用（早川水系）

2 期待される効果

- 巡視点検の効率化・計画外停止予防、遠隔監視による保安力向上、技術力向上、移動及び作業に伴う事故リスク減少が、期待される効果である。
- 特に遠隔監視について、山梨県が運用する発電所の取水施設は遠隔地が多く、現場までの移動が大変である（時間が掛かり、移動時の事故リスクもある）。このため、簡易なトラブルであれば遠隔からの復旧を実施することも視野に入れ、保安の効率化と保安力向上を図りたい。
- 例として、今回の対象取水口は事務所から車で 1 時間、徒歩で 1 時間と移動だけで約半日掛かる距離になる。落石の危険もあるため、移動中の事故リスクの軽減は重要である。
- 若手の技術力向上に関しては、ウェアラブルカメラにより熟練知識の現場移管を図りたい。

3 費用対効果・予算措置

- 山梨県は主要な人員が今後確実に減少することが分かっており、そのような状況下でも保守管理レベルを維持する必要がある。現在の取り組みは補助金もあるため、経営層への説明に障害はなかったが、将来的にどのように説明していくかは課題である。
- 定量的な説明以外に、スマート化技術導入による定性的なメリットも重要。巡視点検の効率化・計画外停止予防、遠隔監視による保安力向上、技術力向上、移動及び作業に伴う事故リスク減少が定性的なメリットである。
- 費用対効果を定量化する場合には、機器の耐用年数を勘案する必要もある。
- 高度な技術を導入する場合、機器のライフサイクルは短いため、新たな負担にもなってくる。将来的な維持

管理コストに留意する必要がある。汎用品を使用しているが、10 年程度を見据えた投資が必要。耐用年数の見込みも 10 年程度で考えている。

4 人材確保・育成・技術継承

【デジタル人材確保・育成】

- 今回の取り組みは、現場に精通している職員が計画から実施までを担当することによって推進することができた。
- デジタル技術に長けた人材は少なく、将来的に安定して推進できるかは不安である。研修はデジタル技術に特化したものはできておらず、よいカリキュラムがあれば若手を育成していきたい。
- 管理システムとして運用していくため、日進月歩の技術に対応できるよう保安のスマート化について全体像を描ける人材育成が必要である。

【保安技術継承】

- スマート保安技術が進むことで現場に人が出向く機会が少なくなるため、現場での経験値を獲得しづらくなる。
- ウェアラブルカメラで熟練職員がサポートする仕組みはあるが、その熟練職員も遠隔での指示に慣れるまでが課題である。特に現場での安全指示について、現場の周囲状況が伝わらずに遠隔指示することに懸念があり、課題であると認識している。

5 ベンダーとの折衝

- スマート保安に関連する機器の需要が増えており、納入まで時間を要することが増えており、現場では課題となっている。

6 ネットワーク基盤・セキュリティ対策

【ネットワーク基盤】

- ネットワーク基盤としては、自営の光回線があるものの 20 年が経過している。現在の取り組みではその回線を使用しているが、今後の更新費用については懸念がある。山間地まで 5G が整備されることは当面期待できないため、将来的には不安である。
- 全ての設備に展開してから検証が必要だが、1Gbps のネットワーク機器で構成したが、回線速度は十分と考えている。また、制御に関しては別のネットワーク回線での構成であるが通信速度は必要としない。

【セキュリティ対策】

- 自営の光回線を使用したネットワークは、映像系、制御系の 2 系統とし、映像系については外部から確認・指示を行う際に VPN 接続を行う必要があるためインターネット接続されたネットワークである。映像のみということでカメラによるパスワード管理のみのセキュリティとした。また、制御系の回線については水門設備も制御対象設備としているためセキュリティ対策は必要不可欠となるがコストを掛けずにセキュリティを高める目的でインターネットには接続せずに LAN 環境のみで構成することで外部からの侵入を不可能とした。また休日、時間外において操作する職員は 24 時間態勢で職員が常駐しているダム（取水口）監視所の職員がいるため映像を外部から確認、判断し、必要な操作は監視所の職員に連絡しながら実施することとした。

- 行政ネットワークとは切り離しており、今回の取り組みでは問題なく実施できている。

7 導入後や運用での課題・工夫

【人材確保・育成・技術継承】

- ウェアラブルカメラを活用（若手職員が現場に駆けつけて、ベテラン職員が事務所から指示）するようなトラブルはこれまでに発生していないが、事務所にいながら現場の状況を把握できることを教育訓練として活用することを計画中である。ウェアラブルカメラの操作方法は現場職員の間で既に共有されている。
- 遠隔操作が可能になったとはいえ、大規模な故障が発生した場合は現地対応が必要になる状況も想定され、現場を熟知している必要がある。このため、どういった所にスマート保安を導入するかという判断が重要になる。山梨県では、現場への移動に関してコスト（時間）や安全面の課題がある発電所に優先的に導入している。
- スマート化に必要な技術・知識を習得することができる研修には積極的に参加していきたいと考えているが、育成効果には個人差があるため、一様に進めることは難しい。技術力のある職員と協働することで技術継承ができると考えている。スマート保安のために導入した機器に故障等のトラブルが発生した場合にも対応できるよう、職員の技術力を向上することは課題である。

【技術の維持・管理（導入後の課題・改善事項等）】

- ネットワーク基盤・セキュリティ対策
 - 無線 LAN のアクセスポイントについて、計画時の必要範囲をカバーできていないエリアがあり、今後増設が必要になる。また、今後も遠隔監視が可能なエリアを広げるため、屋外にもアクセスポイントを設置予定である。
- ベンダー・メーカーとの協業
 - 地元の業者や企業局職員などの身近な者がスマート化技術に対応できる状態にしておくことは、トラブル時の危機回避にもなる。発注を通じて地元の業者もスマート化技術に対応できるようになると良い。
- 実証事業以外でのスマート化に関する取組や工夫
 - 調査の補助的な位置付けでドローンを活用している。保安規程に順ずる巡視点検にドローンを利用する場合は、精度や飛行経路の確保、操縦スキルの向上等が課題となる。

8 導入効果の算定

表 13 に実証事業を通じて評価された「遠隔監視・指示・操作技術」の導入効果に関する指標と算定方法を示す。

表 13 遠隔監視・指示・操作技術に関する導入効果の算定

カテゴリー	指標	算定方法	算定結果
ウェアラブルカメラ導入による保安力の向上	設備トラブルの早期復旧	間接補助事業の実施前と実施後で設備トラブルの復旧にかかった時間、溢水電力量の低減量を算定する。	往復数時間かかる現場でのトラブル対応において、巡視作業員に若手復旧対応作業員1名が同行し、遠方から熟練作業員のサポートのもと復旧作業を実施することにより、人員の省力化及び技能向上が図られた。 ・保守員1人×1日＝1人日の省力化
	現場作業員の技能向上	熟練作業員のサポートを受けながら現場で設備トラブルに対応することで、作業員の技能向上を図り、以降の類似案件等についての対応について検証する。	機器の分解作業等の状況を作業員としての目線で画像を残すことにより、今後の直営作業や所内研修に活用でき、技術力の向上に寄与することができた。
日常点検・定期検査等の保安業務の安全性担保	現場作業の安全性向上	現場映像を利用して複数の技術者の視点で状況を確認しながら作業を行い、誤操作等の防止に努める。	現場作業において、遠方からも映像にて同時に作業内容の確認を行うことにより、誤操作によるトラブル、事故の発生が抑制できた。 ・発電所冷却水復旧（1回） ・取水口除塵機補修作業（2回）
	現場への移動リスク低減	間接補助事業の実施前と実施後で危険箇所を通行する現場移動回数を比較する。	遠隔監視制御によるトラブル復旧対応により、危険箇所の通行を回避できた。 ・取水口除塵機故障復旧対応（8回） ・水槽除塵機除塵機故障復旧対応（3回） ・取水口制水門土砂流入対策対応（10回）
現場作業の省人・遠隔化	現場作業人員の省人化	日常の取水口巡回作業の効率化により省力化した人員数、効率的な現場管理による発電電力量の増加などで定量的な効果を検証する。	カメラ画像による現場状況の確認により、巡回作業の省力化が図られ、また、降雨時等における取水口の塵芥除去を効率的に行うことにより、発電電力量の減少を未然に防ぐことができた。 ・保守員2人×44回／8時間＝11人日の省力化 ・溢水電力量6,400kWh×10時間＝64,000kWhの削減
	設備トラブルの遠隔復旧	遠隔地取水口での設備トラブルの遠隔対応により省力化した人員数、早期復旧による溢水電力量の削減などで定量的な効果を検証する。	取水口のゲート機器や除塵機のトラブルを遠隔監視制御にて復旧することにより、省力化、溢水電力量の削減が図られた。 ・保守員2人×11日＝22人日の省力化 ・溢水電力量355,000kWの削減（出水時における除塵機故障発生回避）

なお、タブレット端末の導入効果として、勤務時間以外の休日や夜間の監視が可能となり、移動時間の削減等による大幅な業務量の削減が可能となったことも挙げられている。また、ゲート操作の遠隔化により、出水時の土砂流入防止が可能となったこと、出水時の配備人員の省力化によって土砂崩れや通行止め等への被害を最小限とすることが可能となったことも挙げられている。

導入効果を表す具体事例としては、早川水系の発電所に導入したリモート I/O により、発電所の除塵機やゲートの異常停止（ゴミ詰まり等）を遠隔操作で複数回復したという実績が挙げられた。現場への駆け付けのために 2 名が往復 4 時間かけていた従来の状況から、遠隔操作での復帰が可能となっている。現場への道中には非常に危険な場所もあり、肉体的な負担も大きいと、数回程度であっても現場に行かずに機器の復旧ができたことは、職員の労働安全性や働き方改革という観点でも非常に大きな改善効果となっている。他にも、カメラの導入により、日常実施している取水口の巡視回数を削減することができている。また、定量的な確認はできていないものの、スマート保安の導入効果として、より重要な他の業務に充てることが可能な時間の捻出も挙げられた。

第3節 ネットワークカメラによる監視、雨量データ伝送実証（宮崎県企業局）

事業者名：宮崎県企業局

事業名：ネットワークカメラによる発電所等の監視強化実証事業／

特定小電力無線通信による曾見川雨量データ伝送実証事業

○ ネットワークカメラによる監視強化

＜具体的な実施内容＞

- ✓ 7か所の発電所等にネットワークカメラ等を新設及び増設し、故障等にどの程度ネットワークカメラが活用されたか検証する。

＜期待される効果＞

- ✓ 故障時は現場に行って状況を確認していたが、遠隔で把握することにより、現場到着前に必要な対応や復旧方法の検討等が行え、早期の復旧が期待できる。

○ 雨量データ伝送

＜具体的な実証内容＞

- ✓ 険しい山奥にあるため電源や通信手段のなかった曾見川沿いに雨量局を設置し、雨量データを特定小電力無線で綾第一発電所に送信。
- ✓ 電源に太陽光パネルを設置し、無線の中継局は、送電線鉄塔に設置し、マルチホップ方式で伝送する。

＜期待される効果＞

- ✓ 受信したデータを企業局LANを使い、曾見川下流にある古賀根橋ダム等での観測を可能にし、洪水予測に活用する。



出所）第4回 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 電気保安制度ワーキンググループ，資料3 水力発電設備の保守管理に係るスマート化ガイドライン策定について

図20 ネットワークカメラによる発電所等の監視強化実証事業／特定小電力無線通信による曾見川雨量データ伝送実証事業

1 実証事業の概要

宮崎県では、①ネットワークカメラによる発電所等の監視強化実証と②特定小電力無線通信による曾見川雨量データ伝送実証を進めている。

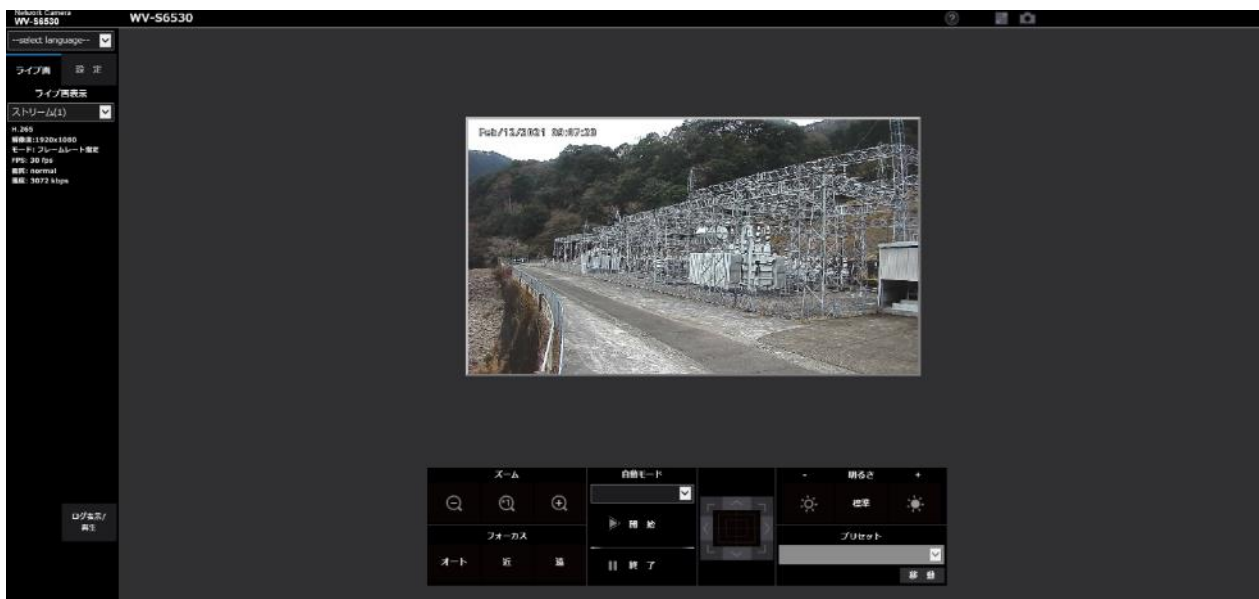
現在、1つの発電所において大規模な改修を行っており、同時にセンサー化してデータ伝送ができるようにしている。段階的にそうした改修事業の中でセンサー化を進めていくことを計画しており、改修事業の中で時間を掛けて進めていく予定である。

発電所のデータはほぼ集められる環境にあり、今後発電所の改修にあわせてさらにセンサー化が行われる予定である。一番の課題は、集めたデータの活用である。取得したデータの活用方法の検討にあたっては、AI等が考えられるが、単独では取り組みにくいテーマである。民間での取り組み事例等を参考に、内部の関連部署と合同で議論する機会を作ろうとしている。

① ネットワークカメラによる発電所等の監視強化実証事業

発電所等の監視強化のためネットワークカメラ等の新設・増設を行い、故障発生時にどの程度ネットワークカメラが

活用されたかの検証を予定している。



(資料提供：宮崎県企業局)

図 21 ネットワークカメラ本体（上図）及び監視画面（下図）の例

② 特定小電力無線通信による曾見川雨量データ伝送実証事業

険しい山奥にあるため、電源や通信手段のなかった曾見川沿いに雨量局を設置し、雨量データを特定小電力無線で綾第一発電所に送信する実証を行うこととしている。綾第一発電所で受信したデータを企業局 LAN を使い、曾見川下流にある古賀根橋ダム等で観測可能にし、洪水予測に活用する。

- 現地の電源は太陽光パネルにより給電し、無線の中継局は送電線鉄塔に設置し、マルチホップ方式で伝送する。
- 令和 3 年度は伝送の正確性等について実証し、他の箇所への応用や公営電気事業経営者会議を通じて、他県の公営企業への展開を図る。
- 今回は、無線機を設置する送電線鉄塔があり見通し距離の確保等ができたが、他の地点が同じ条件とは限らないためどこにでも設置可能とはならない。

2 期待される効果

-特定小電力無線通信による曾見川雨量データ伝送実証事業について

- 水力発電所は設置箇所に通信インフラが整備されていない環境が多いため、今回の事業により省電力でのデータ伝送の正確性が確保できれば、スマート保安のためのデータ収集へと繋がる。ただし、無線機を送電線鉄塔に設置する必要がある、点検や交換時、そこにいくまでの労力や作業者の安全性の確保といった課題が残る。
- スマート保安技術導入のために、現在はまず通信路を確保することを主眼として取り組んでおり、その成果に期待をおいている。
- 山間地の場合にはどのようにデータを伝送するかが大きな課題となるが、電源のない雨量局からデータを転送する仕組みを構築できないかを検証している。今後はデータをより大量に伝送できれば、保安力向上及び技術力向上に繋がると考えている。

3 費用対効果・予算措置

-特定小電力無線通信による曾見川雨量データ伝送実証事業について

- 大がかりなテレメータ装置の設置を考えれば安価に納められるが、1点のみの伝送と考えるとあまり安いものではなく、今後の展開への可能性も含めた費用として捉えている。
- 耐用年数は期待寿命として10年を考えている。ただし、設置環境は風雨に晒されるあまり良い環境ではないため、今後経過を見ていく必要がある。
- 通信回線を確保する場合、民間から提供されている光ファイバーを使用する方法と比べ、無線によりデータ転送することは比較的簡単であり、コストを抑えることができる。
- スマート保安技術導入に関しては、経営層も認めている背景があり、計画は立てやすい環境である。これまでも出水による被害があったことから、それを防止するための足掛かりとしての効果も期待されている。
- 宮崎県の特徴として、土地柄のため台風災害が比較的多いことから、発電所の通信網整備体制が早くから確立されており、自前で通信回線を所有していた実績もある。通信網整備に取り組むことについて経営と現場で共通認識となっている。
- 今回の実証事業では1拠点からデータを転送するものであるが、その工事費は決して安くはない。しかしそれも数が増え、需要が広がればコストが下がり利用可能な予算範囲になってくると思われる。初期投資をして10年で回収すると考えれば、民間設備を利用するより安価に実現することができる。
- 無線通信により期待以上の効果が確認できれば、雨量局を増設し出水予測に活用することで、安全のための一番大きな効果があると期待している。企業局は費用対効果以上に（コストを掛けても）安全を最優先するのが使命である。それを示すための指標としては、河川沿い等に雨量局を増設し、雨量を測定して予測可能性を高めることが大きく安全に寄与すると考える。

4 人材確保・育成・技術継承

【デジタル人材確保・育成】

- 現状は、必要なデータは集められているという前提で、その活用・予兆の判断をするための能力がないことが課題である。データを活用し、判断できるための人材育成が必要。
- データを利用するための土台はできていると考えているが、それをいかに活用するかについては課題となっており、今後、より具体的に議論していく。

- 企業局のネットワークは職員自らが管理している。しかしそのための人材は限られるため、今後は管理できる人材を増強することが必要である。
- スマート保安技術導入に関しては、経営層も理解しているため計画については立てやすいが、費用対効果についてはほぼ人件費の削減となるため、人材育成とのバランスをどう取るのか、といったところが難しい。
- 人材育成のため OJT に取り組んでおり、発電所の保守管理は外部での研修を設けている。他県での機器取扱の研修に派遣するなど、組織間で交流することで技術力を高めようとしている。

【保安技術継承】

- 将来的により高度な技術の導入を検討する場合、スマート保安技術導入の推進への対応について、まずは既存設備を熟知することができていないと、データの活用が不可と考えており、そこをどうレベルアップしていくかを検討している。
- 費用対効果の計算にあたって縮小する要素は、保守のコスト低減することによる人件費になる。しかし省人化することで他の業務に影響が及び、技術継承の観点で技術力が低下することを危惧している。

5 ベンダーとの折衝

- 今回の事業は、これまで行っていない設備の導入であり、事前の調査や製造者等の聞き取りを重ね理解を深めた。

6 ネットワーク基盤・セキュリティ対策

【ネットワーク基盤】

- 古くから多重無線設備等によって発電所及び企業局庁舎間の通信回線は確保していたため、主幹となる通信回線はある。
- 発電所からさらに離れた地点については整備が遅れており、その回線確保のための検討として今回実証事業を進めている。

【セキュリティ対策】

- 雨量データを伝送するための通信は閉じた系で、場所が山間地ということで、盗聴されるような心配も少ない。今後クラウドを活用したデータ通信を考える場合は外部との接続になるため、行政分野のネットワークを使っている関係でポリシー的に認められない可能性があることが課題である。
- 企業局が管理しているサーバーに全て納めており、管理・制御どちらも活用可能である。制御系と保守系のデータはファイアウォールで分けた構成でネットワーク構築している。

7 導入後や運用での課題・工夫

【人材確保・育成・技術継承】

- 測定値のデジタル化は比較的容易と認識しているが、デジタル化したデータの活用方法に関する教育が難しい。現状、取得したデータの解釈や判断は、実際の現場作業を通じて継承する方法が多い。
- カメラ設置については、コスト抑制やノウハウ蓄積の観点から、メーカー等に依頼せず、宮崎県企業局職員が

自ら対応した。

- 実証事業とは別に、ウェアラブルカメラを使った教育を実施したことがある。その際、画面酔いするといった課題が明らかになった。
- デジタル人材の育成だけでなく、従来の保安に関する知識・技術を持った人材の育成も必要であり、両者のバランスが重要と考えている。

【技術の維持・管理（導入後の課題・改善事項等）】

- ネットワークカメラ
 - 導入後は、増設ポイントの洗い出しや設置ポイントをずらした場合の効果について検証している。増設する場合は、通信容量の増加や管理点数の増加による負担を考慮する必要がある。
- ベンダー・メーカーとの協業
 - 発電所の立地が大手メーカーの拠点から地理的に離れていることやコロナウィルス流行の影響等により、メーカーが現場を訪れる頻度が限定的であった。メーカー主導でスマート化を推進する場合、有事の際の対応が困難になる恐れがあり、自局や地元メーカーでも対応できることが望ましい。
- 実証事業以外でのスマート化に関する取組や工夫
 - AI 導入はコストが高いため、企業局単体で対応することは困難である。民間の電気事業者等との共同利用が望ましい。

8 導入効果の算定

表 14 に実証事業を通じて評価された「ネットワークカメラによる監視技術」、「雨量データ伝送技術」の導入効果に関する指標と算定方法を示す。

表 14 ネットワークカメラによる監視技術に関する導入効果の算定

カテゴリー	指標	算定方法	算定結果
日常点検・定期検査等の保安業務の安全性担保	監視できない範囲の割合	対象設備全体のうち、死角等で監視できない範囲の面積割合	40%
	監視できない時間の割合	システム稼働による監視ができない時間の割合	0%
現場作業の省人・遠隔化	現場応動の業務工数	現場応動にかかる平均的な年間業務工数の削減割合	15%

表 15 雨量データ伝送技術に関する導入効果の算定

カテゴリー	指標	算定方法	算定結果
日常点検・定期検査等の保安業務の安全性担保	トラブル予知のための伝送精度の確立	保有施設において、伝送設備のない施設への応用期待度※	50%
	雨量増による監視対象範囲のカバー割合	雨量増に伴うトラブルを監視すべき範囲のうち、導入した雨量計システムによって監視できる地域の割合	10%
現場作業の省人・遠隔化	現場作業の業務工数	データ伝送が可能となり、トラブルを防ぐことで削減できる平均的な年間業務工数の割合	20%

※雨量計を設置したい候補箇所に対して、通信環境が構築可能（送電線鉄塔や見通し確保等が可能）と想定される箇所のおおよその割合

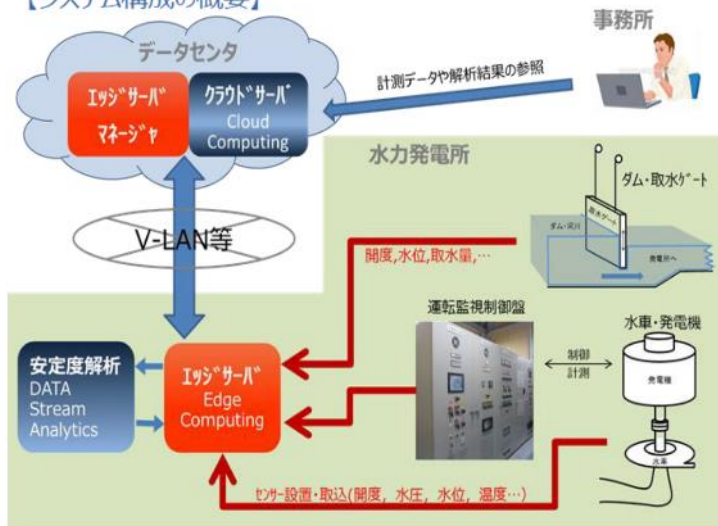
第4節 IoT・ICT 技術適用に関する研究開発（中国電力株式会社）

事業者名：中国電力株式会社

事業名：水力発電 IoT・ICT 技術適用に関する研究開発（概念実証）事業

水力発電所等における各種センサーデータのリアルタイムな見える化

【システム構成の概要】



＜具体的な実施内容＞

- ✓ 水力発電所の水車・発電機、取水ダムの取水ゲートに設置する各種センシング値（温度、振動、水位等）をデジタル化し、IoT装置（エッジサーバ等）に取り込み蓄積する。
- ✓ 通信回線（V-LAN等）を通じ、データセンタに設けたクラウドサーバとのデータ通信や、保守員事務所からアクセスしてリアルタイムにデータを参照するシステムを構築。

＜期待される効果＞

- ✓ 定期に行う巡視点検におけるデータ取得の省力化や、機器の健全性のリアルタイム把握による異常や不具合への早期対処を実現する。

出所）第4回 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 電気保安制度ワーキンググループ，資料3 水力発電設備の保守管理に係るスマート化ガイドライン策定について

図22 水力発電 IoT・ICT 技術適用に関する研究開発（概念実証）事業

1 実証事業の概要

中国電力株式会社では、広島県太田川水系の流れ込み式発電所1箇所を対象としたIoTの概念実証を2017年から進めており、補助事業による取り組みは4年目に該当する。これまでに月に1回実施している発電所の巡視点検においてタブレットを導入し、その場で点検記録を入力する仕組みを導入している。

今回の実証事業ではデータ取得の作業を自動化し、センサーから取得したデータをリアルタイムにサーバーへ取り込んで蓄積し、遠隔の事務所から参照するシステムを構築して検証する。

- 点検時のデータを所要のタイミングで取得し、記録を自動入力・作成できるようにしている。
- データ取得は、簡易な環境センサーによるデータ、水車・発電機制御装置内のデータ、カメラで読み取った画像のデジタルデータ化等して蓄積している。
- 発電所上水槽における一定時間後の水位をAIにより予測するシミュレーションを試行している。
- データを秒単位の頻度で取得・処理をすることで、点検記録や水槽水位予測として十分なデータが取得できているかを検証している。



(資料提供：中国電力株式会社)

図 23 センサーデータの収集に関する設備例

現在は概念実証レベルの取り組みであり、巡視点検時に取得するデータの全てをデジタル化できてはいない（7割程度）。センシングにより取得できるデータ項目数を充実して、機能の高度化に取り組む予定である。

プラントの健全度を容易に把握できるような工夫をしているが、現在はシステムを構築して、その動作確認している段階であり、業務での活用はこれからとなる。手作りのシステムのため、得られたデータの見える化や業務への活用については将来的に工夫の余地がある。現場の保守員が使いやすいことを目指して、業務に活用できるよう機能や精度を高めていく。

2 期待される効果

- 巡視点検におけるデータ取得の省力化
- 記録作成の省力化
- 故障予知（警報設定値に対してどの程度裕度があるかを「安定度メータ」として表示するアルゴリズム）
- なお、現在の巡視点検は月 1 回だが、実用レベルにおいてはさらに回数を減らすことを目指している。

保守員事務所の PC 画面による監視・記録（安定度メータ）



巡視風景



（資料提供：中国電力株式会社）

図 24 巡視風景と監視・記録画面（安定度メータ）の例

3 費用対効果・予算措置

- 経営層に対しては、新たな取り組みを開始する場合には費用対効果の説明を要するのが実情である。今回の取り組みにあたっては、スマート保安技術導入に関し経営層の理解が得られたことで、スムーズに推進することができた。計画時の費用概算にあたって有用な情報がなかったため、費用対効果を示すための一連のストーリーを作る必要から、想定をベースに試算し、以下のような定性的な効果も合わせて説明した。
 - 具体的に何人が巡視しており、点検時間を短縮してどのくらい時間省力化できるか
 - 故障予知ができることで計画外停止を回避できる
 - 設備利用率を向上させれば発電量がアップする
- 実証に取り組んでいる対象発電所の規模は 8000kW であり、この規模の発電所で故障停止を回避できることの効果は、巡視点検の省力化効果よりも大きい。
- 導入する電子機器は法定耐用年数としては 5 年であるが、その期間で投資分を回収することは現状では困難。一方、実力ベースで考えれば 10 年程度は使えることを踏まえると、それ相当の基準で評価することでも良いのではという考え方で進めている。
- 定性的なメリットとしては、水力発電技術の分野でベテラン人材が減っていく状況において技術継承に役立つという点が挙げられる。経験に基づく継承ではなく、取得したデータから作成したトレンドグラフを教材として用いた方が、若手には伝えやすく、確実な技術継承となる。
- 巡視作業は、人による作業であるため、省力化によって浮いたリソースを生産性の高い業務に充てることで、

単純に人件費が減るだけではなく、生産性の向上に繋がることも評価した。

- IoT プラットフォームのソフトウェアに米国製のものを採用しているが、毎年更新され常に最新のソフトウェアが使えるよう、システムを構築している。
- センサーについては、新設した場合、そのセンサーを機能維持する必要等、保守作業の観点で新たな負担増となるため、極力、既設のものを（信号を分岐するなどして）使用している。例として、環境データについては、気温・湿度等の計器は汎用品が多くあり、運転には直接影響しないので、割り切って既設のものを活用してコスト削減している。

4 人材確保・育成・技術継承

【デジタル人材確保・育成】

- 人材育成に関しては、まだ仕組みとしてはできておらず、スマート保安技術のための取り組みを推進している人物は限定的である。今後、実証事業での取り組みを横展開する中で、関連する作業に携わり、水力発電の IoT に関する知識を深め、デジタル人材を増やすことを考えている。
- スマート保安技術の推進は、試行錯誤して経験しないと分からないことが多いため、人材育成のためにはこうした活動に実務として関与することが最も重要である。
- 今後、蓄積したデータベースから必要な情報をダウンロードして教材として活用できれば、技術継承に役立つ。そのためには扱いやすく、分かりやすく、業務で使えるものとして、あったら良いではなく、なくてはならない仕組みとすることが必要である。
- AI・IoT に関する社内研修は単発的には実施している。業務に活用するためにはその知識を繋げていく必要があり、ある程度の時間を掛けて、最終的に業務へ落とし込むまで取り組んでいくことが、人材育成には大切である。
- 実証事業の体制は、情報通信会社・発電機メーカー・水車メーカー及び中国電力の 4 社協業で取り組んでいるが、デジタル化に関する人材が揃っているという状況ではなく、それに取り組む意思があるかどうか重要。協業のためには、各社にとってインセンティブが働くような提案が不可欠。各社とも新しい知識を徐々に身に付けて今に至っており、これからもこのような業務に携わる機会を増やしていくことが必要である。

【保安技術継承】

- スマート保安技術の導入は水力発電技術の分野でベテラン人材が減っていく状況において技術継承に役立つと考える。経験に基づく継承ではなく、取得したデータから作成したトレンドグラフを教材として用いた方が、若手には伝えやすく、確実な技術継承となる。

5 ベンダーとの折衝

- IoT システムを実際の機器に適用することを考えると、設備メーカーとのやり取りが必ず生じる。メーカー側で閉じていた機器内部データを外部に出力することについて（メーカー側に）理解してもらう必要があったが、その対応ができるメーカーは当時限定されていた（3 年前頃）。
- 最初の段階で計画したことが、実際にはじめてみると不足する機能が分かってくるなど、試行錯誤の繰り返しになり都度業務の折衝が必要になる。当初想定した費用へ追加したり、契約を変更したりして対応している。
- 機器にデータ出力用の基盤を追加する改造費用を負担すればデータを取り出せると考えるが、初めての場合は開発費が掛かり、メーカー側がどこまでユーザーの要望を汲み取れるかにより、費用が大きく変わってくる。

6 ネットワーク基盤・セキュリティ対策

【ネットワーク基盤】

- ネットワーク基盤整備については課題があり、山間部の発電所は IT 網が整備されていない。それをデジタル化のために整備するのは時間・費用が掛かる。実証事業にあたっては、協業している 1 社が（電力用だけでなく）一般用インターネットプロバイダーとして IP 網を持っていることから、それが極力活用できる発電所を選定した。
- IoT システムに加えて、電力保安用の IP カメラや WiFi 無線とも兼ね合わせて、ネットワーク整備の必要性の認識合わせをしている。

【セキュリティ対策】

- IoT により取得したデータをどのように扱うかについては議論があり、一つの焦点になっている。それは系統運用に用いるデータとプラントデータがある中で、電力制御セキュリティの確保面から、系統運用向け回線とは通信ネットワークの階層を分離する必要があるため、通信セキュリティポリシーの観点では新たなデータ種類が生まれたと捉えて、通信部門と協議をしている。

7 導入後や運用での課題・工夫

【人材確保・育成・技術継承】

- スマート技術によって取得されたデータは、今までベテランの経験・勘に頼っていた部分の裏付けとなる一次データである。このデータを活用することで、保安の確実性や理解度がより深まる。
- 保安に関わる人材にとっては、システム自体やデータ解析等の理解よりも、それらのアウトプットを活用し発電を維持するためのスキルを養うことが最も重要である。このため、まずは導入したシステムを利用し、データ活用の技術力向上を目指すことを直近の目標としている。
- メーカーが開発した解析ソフトは、ものづくりの観点（機器故障に着目）であるため、保安（運転維持）の観点とは若干異なる。このため、メーカーが開発した解析ソフトをそのまま導入することは難しい場合もある。
- 従来の方法を IoT システム等で代替することへの不安を持つ関係者は存在するが、新しい技術を活用するためには、マインドを変える必要がある。

【技術の維持・管理（導入後の課題・改善事項等）】

- AI による上水槽水位の予測
 - 実用化のためには、従来の取水量に応じた運転を脱却し、より高効率な運転を行う状態下での水位予測が必要となるが、学習データの不足が課題である。営業運転中の発電所でのデータ取得は難しく、発電所新設のタイミング等で試験的にデータを取得する等の対応が考えられる。
- 計器表示値のカメラ読み取り
 - キャプチャーした画像を AI で読み込みデータ化する装置を構築し、表示値の認識率 99.9%を達成

したが、自然光の入り方などの環境要因により、誤認識されたデータが僅か（0.1%）に発生した。計器の硝子板による自然光の反射やデジタル計器の LED 光の影響等により、人間であれば読み間違える可能性はほぼ無い程度でも読み間違いが発生することがあった。

- 誤認識等の外れ値による警報は保守員の負担増につながるため、実用化のためには100%の認識率が必要である。例えば、常に同じ環境を維持する（自然光を遮断する等）、エラー値を識別しクレンジング（移動平均との乖離が大きい等の場合は該当データを削除、前後の値を用いて平均化する等）する等の対策が必要である。

- 発電所の健全度の見える化（安定度メーター）

- 取得したデータを用いて、プラントの健全度をリアルタイムに演算処理するアルゴリズムを構築・実装し、健全度の見える化（安定度メーター）を実現。安定度メーターによって、警報レベル（従来の保守で培ったノウハウに基づき設定された閾値）に対する裕度を把握することができる。将来的には、平常状態における安定領域を割り出し、その領域からの逸脱を検知することを目指している。
- センサーから取得したデータに僅かにでも外れ値が含まれることで、安定度メーターが100に至る場合もあるため、取得したデータは十分にクレンジングした上で解析する必要がある。また、センサーには高い信頼度が求められる。

- ネットワーク基盤・セキュリティ対策

- 大洪水や土砂崩れ等によって発電所への立ち入りが不可能になっても、システムを通じたデータが取得可能であればプラントの健全度も把握でき運転継続の可否を判断できる。しかし、通信回線（光ファイバー）が遮断された場合は、何も分からなくなってしまう点は懸念として残る。

- 実証事業以外でのスマート化に関する取組や工夫

- ドローンについては、安定して静止状態を保つことが困難という課題が解消されない限り、適用範囲は限定的と考えられる。アクセスが負担であったり困難な箇所の外観把握には積極的に利用している。

8 導入効果の算定

表 16 に実証事業を通じて評価された「IoT・ICT 技術適用技術」の導入により期待する効果に関する指標と算定方法・結果の例（出力規模 1 万 kW 程度）を示す。

表 16 IoT・ICT 技術適用の導入により期待する効果の算定例

カテゴリー	指標	算定方法	算定結果
保安力の向上	プラント挙動の健全性確認	挙動把握・確認ができる期間 従来：月 1 回の巡視時にその時点の挙動のみの把握 導入後：全期間（過去トレンドを含め 1 日 1 ～ 2 回の確認）	1 回/月 → 全期間

カテゴリー	指標	算定方法	算定結果
日常点検・定期検査等の保安	巡視業務量（人日）の削減（作業安全の向上）	発電所あたり0.5日×2人×（12回/年－4回/年）	年間8人日
	点検業務量（人日）の削減（作業安全の向上）	細密点検作業終了後に行う有水試験を想定 一連の試験5日×5人	細密点検時の有水試験相当を行う場合25人日
現場作業の省人・遠隔化	各種データの過去トレンド把握による不具合箇所探索や事象解明の迅速化	1事象あたり 従来：0.5日×2人⇒使用後：0.1×1人	1事象あたり0.9人日

導入効果を表す具体的な内容としては、以下の点が挙げられている。

- トラブルが発生した場合、従来は現地に赴いて仮復旧した後に不具合の原因を調査し、本復旧に至るという流れとなる。不具合の原因調査では過去のトレンド把握が有効なものの、現状では粗いデータでも残っていれば幸運な方で、オシロ記録装置等を設置して再現を待つ場合には1ヶ月程度の様子見を要することもあるが、導入したシステムでは頻繁に過去のトレンドも含めて動作を密に把握することが可能になっている。
- 現状、巡視は月1回程度で実施しているが、データ取得の自動化によって現地での表示値の読み取りや記録の手間がなくなったことで、巡視業務量が削減される見込みである。
- 点検業務量については、有水試験時の温度・水圧・振動を人が計器を読みながら記録していた部分が削減される見込みである。また、同一時刻に計測する計器も多く（30～40程度）、読み取りに掛けられる時間に制限があるが、本システムを導入することによって同一時刻に所要のデータを瞬時に記録でき省人化が図られる。運用を通じて、負荷試験に係る労力が7～8割程度削減された実感がある。
- 不具合の有無に関わらず、計器の詳細な動きを事務所のPCから常時確認ができるようになることは、保安レベルの維持・向上にとって非常に大きい効果がある。加えて、データを活用することが仕事の精度向上に繋がるという気付きが得られることで、データ活用技術の向上やデータ活用文化の醸成にも繋がっている。

第5節 令和3年度 AIを活用した水力発電所運転計画支援システム実証事業（長野県企業局）

事業者名：長野県企業局

事業名：令和3年度 AIを活用した水力発電所運転計画支援システム実証事業

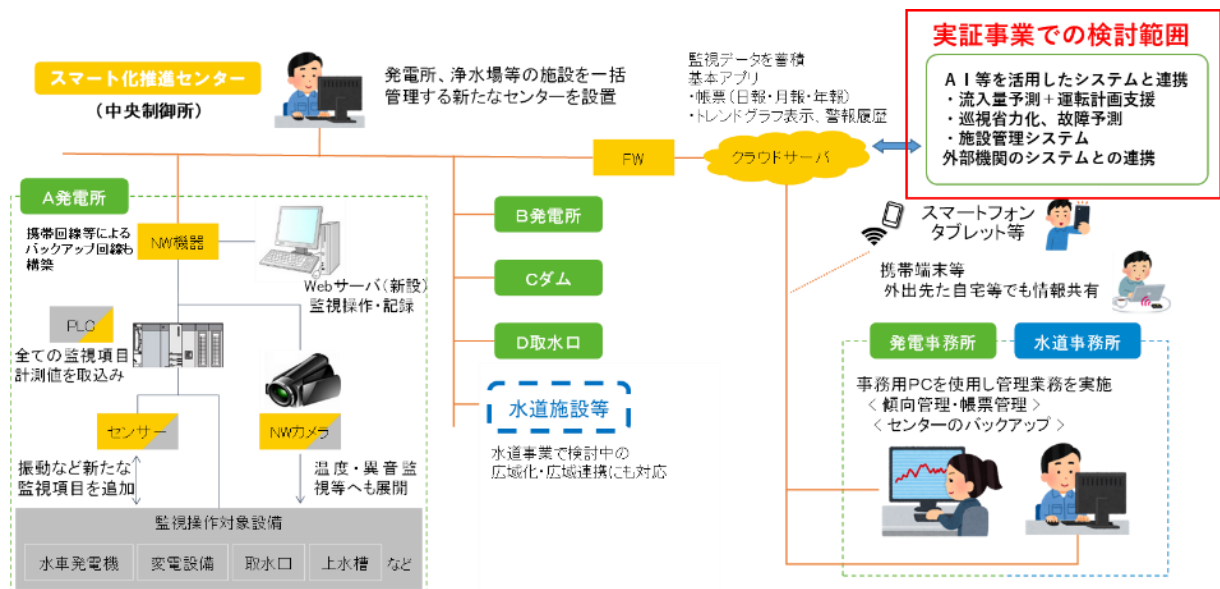


図 25 AIを活用した水力発電所運転計画支援システム実証事業

1 実証事業の概要

長野県では、計画値同時同量制度の下、正確な発電量予測が義務として求められていることから、水力発電所の運転計画の高度化による電力需給の正確な予測及び業務の効率化を目的として、ダム地点等の流入量予測や運転計画作成支援を可能とする AI の構築に取り組んでいる。保安業務における発電所運転計画策定において、降雨等を考慮した運転計画決定プロセスに AI を適用し、最適なダム等の運用及び電力の安定供給を図ることを目指し、以下の実証に取り組んでいる。

- 気象予報と過去のデータなどを基に AI を活用した解析結果に基づく 2 日分以上の流入予想の実証
- 流入予想、ダム運用予定水位、発電機点検停止など諸条件を前提とした 2 日分以上の運転計画支援システムの実証

2 期待される効果

- ベテラン保守員の経験に基づいて判断していた流入量予測を AI によって代替することで、流入量予測及び運転計画の精緻化や労力の削減（人材不足の解消）が期待される。
- 運転計画の精緻化により、利水に影響なく洪水時のダム容量を確保する等の洪水対応、電力の安定供給

(インバランスの最小化) への寄与が期待される。

3 費用対効果・予算措置

- 予算措置の段階において、AI によって省人化可能な人員数を定量的に示すことまでは求められていない。人材不足が組織としての喫緊の課題と認識されており、内部的な決裁は取りやすい状況にある。なお、結果として省人化できた場合、その分のリソースは水力発電所の新設業務に投入する考えである。
- 企業局自らが解析用サーバーを購入し、AI のチューニングをエンジニアに依頼する場合には、どうしてもコストが大きくなるため、今回はベンダーが提供する一連のサービスを受ける形とすることでコストを抑制している。昨年度の実証事業において、ベンダー側でクラウド型サーバーにシステムを構築しており、今年度の実証事業ではランニングコストのみ発生している。
- 実証を通じてシステムが有効に機能しない場合には、サービスを切り替えるという選択も視野に入れており、思い切って取り組むこととしている。また、国の補助金が活用できることも後押しになっている。

4 人材確保・育成・技術継承

【デジタル人材確保・育成】

- 電気系技術職の中でも比較的デジタル技術に詳しい人材が対応している。今後、益々スマート化が進むと思われるため、デジタル技術に詳しい人材の確保はぜひ進めていきたいと考えている。

【保安技術継承】

- AI の活用により、従来はダム管理者の経験に頼っていたダム管理のノウハウが見える化され、若手技術者のダム管理に係る知識・技術習得が容易になる。

5 ベンダーとの折衝

- 本事象事業では、スマート化に詳しいコンサルタント等と事前相談した上で、ベンダーが提供する一連のサービスを受けることとした。

6 ネットワーク基盤・セキュリティ対策

本実証事業で導入する AI は、第 1 節において紹介した「水力発電所遠隔モニタリング実証」で整備されたネットワーク基盤を通じてクラウドサーバーに集約されたデータを利用したものであるため、関連する内容は第 1 節を参照されたい。

第6節 企業局「スマート保安」推進事業（徳島県企業局）

事業者名：徳島県企業局

事業名：企業局「スマート保安」推進事業



図 26 企業局「スマート保安」推進事業

1 実証事業の概要

徳島県内の水力発電所は、山間僻地に設置されており、その保守管理は台風や大雨などの自然条件に左右されるなど、時間的・人的負担が大きな課題となっている。また、ダム・発電設備等の点検は高所や水中部など、危険と隣り合わせである。このような背景の下、施設の保安業務をスマート化することにより、現場の点検・管理の省力化、業務の効率化・簡素化を図るため、以下の実証に取り組んでいる。

- Wi-Fi 環境及びウェアラブルカメラを活用した設備点検、故障対応の実証
 - これまで通信環境が脆弱であった日野谷発電所に Wi-Fi 環境を整備することにより、ウェアラブルカメラやタブレット等のスマート機器を活用可能とし、現場作業員と管理事務所とを接続しながら模擬で設備の点検や巡視を行うことにより、作業効率の向上、業務省力化、設備異常などの緊急時対応の迅速化効果を確認する実証を行う。

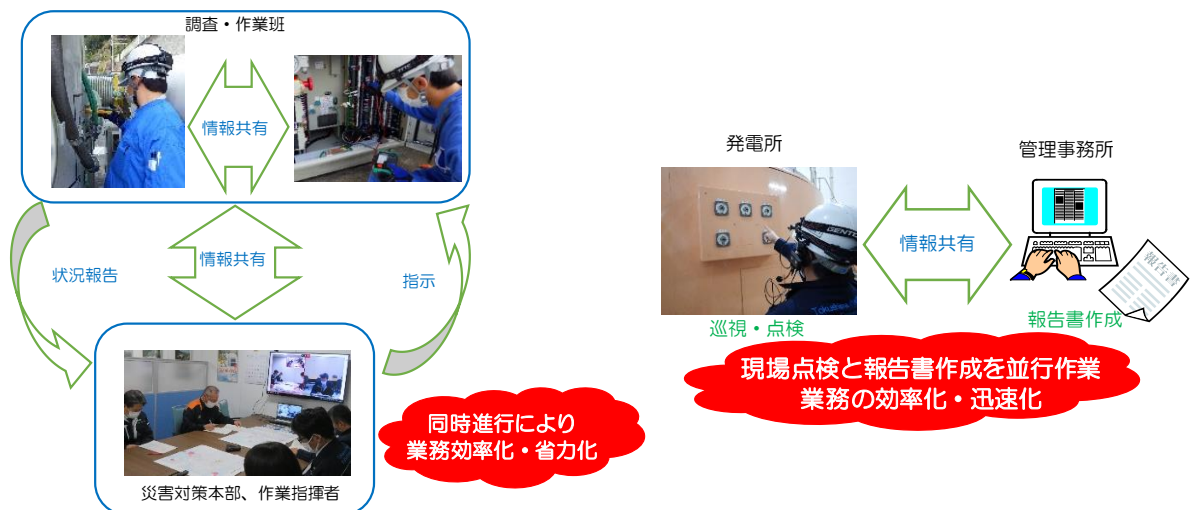


図2 点検・緊急時対応のスマート化イメージ

- 職員の現場研修時に被研修者がウェアラブルカメラを装着し、指導者が映像を共有することで、同じ目線で指示、指導することにより効率的な技術伝承、育成効果の向上を図る。

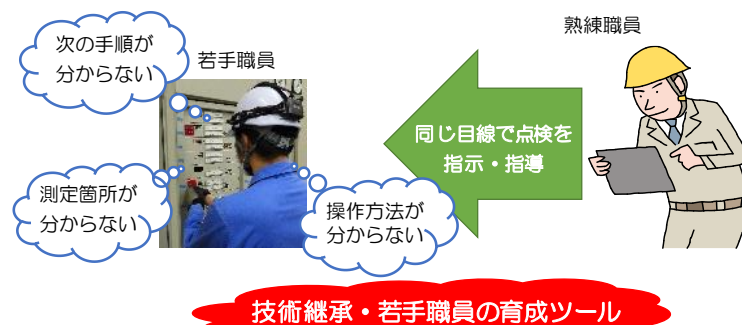


図3 ウェアラブルカメラを活用した技術継承イメージ

- ネットワークカメラによる設備及び施設周辺の遠隔監視実証
 - 日野谷発電所構内の2カ所にネットワークカメラを設置し、河川、構内・発電所周辺状況、屋外機器、水圧鉄管等を管理事務所から映像による遠隔監視の実証を行う。
 - 河川の監視により、降雨等による流量の変化が視覚的に捉えることができ、事前放流などの対応に活用する。
 - 設備異常時には、これまで故障信号や数値データのみしかなかったため、職員が駆けつけるまで現場の詳細状況が分からなかったが、屋外機器、水圧鉄管などの設備を映像監視することにより、故障原因の推定や機器の状態確認ができ、対応が迅速化する。
 - 山間僻地にあり土砂崩れ等の災害リスクの高い水力発電所において、構内・発電所周辺の映像監視により、災害時に職員を現地に派遣することが可能か判断が容易になり、安全性が向上する。

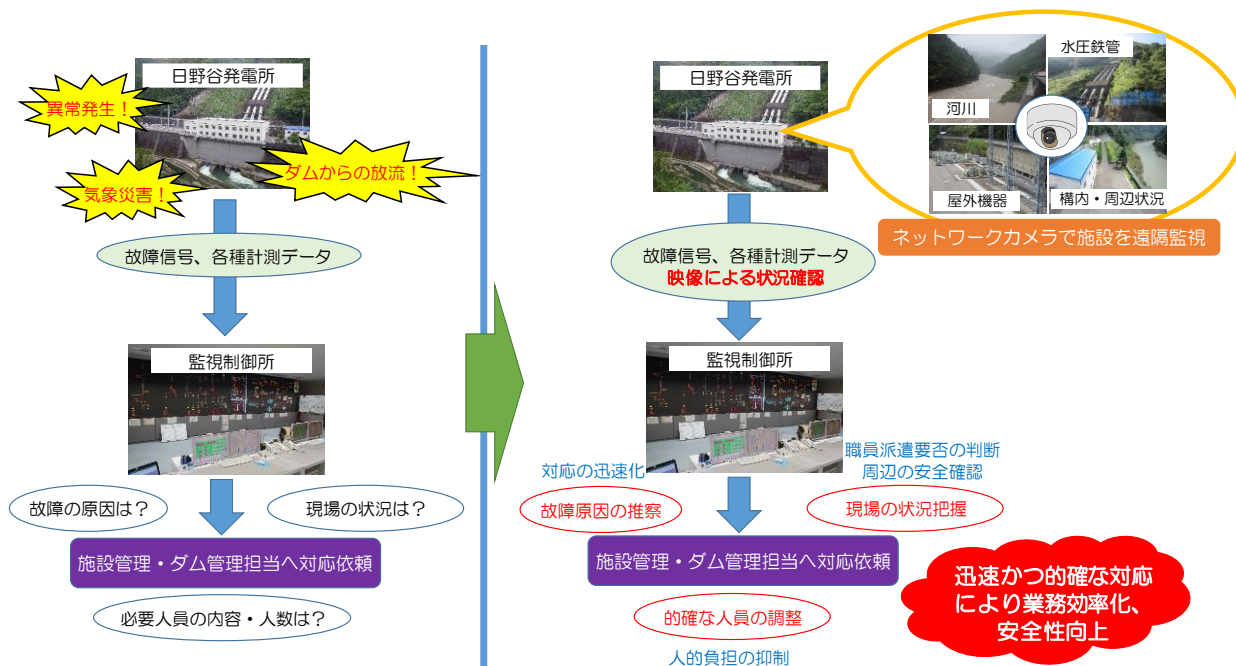


図4 ネットワークカメラによる遠隔監視イメージ

● 水中ドローンによる水中部施設の点検等作業の実証

- これまで潜水土に委託していた発電所放水口などの水中部施設の点検作業を自ら行うため、水中ドローンによる点検を実証し、作業の効率化や安全性の向上の効果を確認する。
- 水中で簡易な作業ができるようアーム付きの機種を選定し、水底の流木除去作業や、落下した工具回収の模擬作業を実証する。

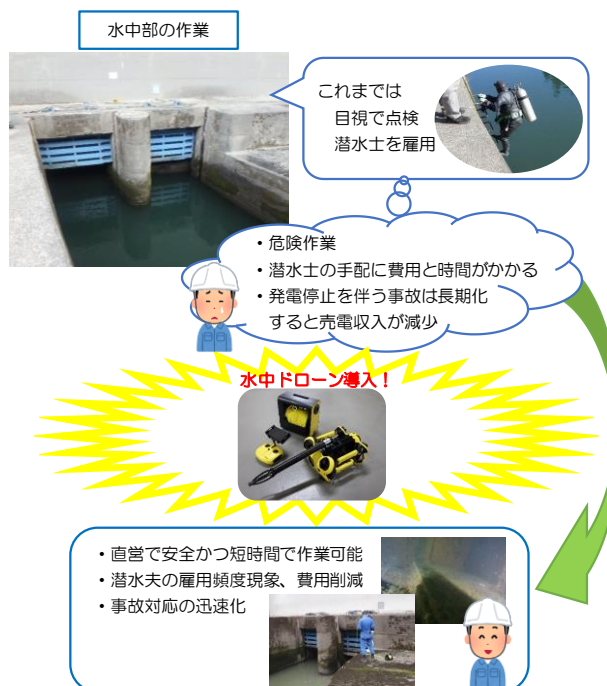


図5 水中ドローンの活用イメージ

2 期待される効果

- Wi-Fi 環境整備、ウェアラブルカメラ導入
 - 作業現場内や遠隔地との情報共有・連絡調整が容易になるとともに、機器の操作状況や点検完了箇所をリアルタイムで正確に情報共有可能となることにより作業効率が向上するとともに、労務災害やヒューマンエラーの防止になる。
 - 作業現場と管理事務所を接続することにより巡視・点検と報告書作成を同時進行でき、業務が効率化される。
 - 設備異常時に現場調査、報告、対応指示を同時進行で行うことにより対応完了までの時間が短縮され、発電停止等の影響を最小限に抑えることができる。
 - 現場の情報をメーカーと共有することにより、遠隔から即座に指示、報告受けることができ、正確かつ迅速なトラブル対応ができ、技術者派遣の依頼頻度が減少する。
 - ウェアラブルカメラを活用した職員研修により、ベテラン職員の有する技術的ノウハウを効果的に若手職員へ継承することができる。
- ネットワークカメラ導入
 - 映像により施設・設備の状況・状態をより正確に把握でき、異常時に迅速かつ的確な対応がとれる。（初動対応、人員配置等）
 - 災害時には現場周辺の状況を確認し、職員派遣の可否を判断でき、職員の安全を守ることができる。
 - 大雨時に河川の流量変化状況をリアルタイムで視覚的に把握でき、出水時のダム運用補助となる。
- 水中ドローン導入
 - これまで潜水土に外部委託するしか方法がなかった水中部施設の点検を、職員自らが安全に作業可能となる。
 - 潜水土を雇う頻度が減少し、コスト減につながる（10～15万円／回）。また、潜水土を必要とするような場合でも、事前に状況把握や対策方法の検討ができ、作業・事故対応の効率化・迅速化につながる。

3 費用対効果・予算措置

- 本県企業局経営計画において「適正な施設の維持管理とDX実装による工事、維持管理業務の効率化」に取り組むこととしており、スマート保安技術の導入については局内の意思統一が図られている。
- 導入するスマート保安技術の内容は若手職員を中心として立ち上げた「スマート化タスクフォース」において提案された意見を参考としている。
- 今後、他施設へ展開していくためには多額の予算が必要となり、耐用年数を考慮した中長期的な更新計画を立て、経営への影響に配慮しなければならない。
- スマート保安技術導入の将来的な展望として、AIによる予知保全技術なども取り入れたいと考えているが、データ取得のために多数のセンサーが必要となるなど導入コストが高いという点や、技術が確立していないなどの課題がある。

4 人材確保・育成・技術継承

【デジタル人材確保・育成】

- ウェアラブルカメラや水中ドローンはすぐ簡単に扱えるものではなく、初期設定や操作方法の習得をしなければ

ならない。設備異常時などの緊急の場合において迅速な対応をとるためには、職員の誰もが使用方法を理解しておかなければならないため、定期的な操作研修の実施、操作マニュアルの作成、日常的に機器を活用する体制や点検計画を整理しておく必要がある。

【保安技術継承】

- 企業局内部で実施する職員研修に、ウェアラブルカメラの活用を取り入れ、ベテラン職員の技術的ノウハウを効率的に継承していきたい。
- 点検頻度が少ない水車発電機のオーバーホールや内部点検作業の様子を記録映像として蓄積することにより、普段は見ることができない機器内部の仕組みを知る貴重な資料とできる。

5 ベンダーとの折衝

- 設備導入は工事施工及び物品納入（競争入札）により実施した。
なお、メーカーへのヒアリングやデモ機の試用などを参考とし、実用性とランニングコストを考慮した上で機種選定を行った。
- 世界的な半導体不足の影響により、無線アクセスポイントなどの電子機器の部品調達に時間を要したため、機器の納入に大幅に遅れが生じた。

6 ネットワーク基盤・セキュリティ対策

- 実証は一般のインターネット回線を使用した。実用段階では非常時でも確実に使用可能とするため、回線の二重化などの通信途絶やセキュリティ対策を検討する必要がある。

第7節 神奈川県営発電所における遠隔モニタリングシステム構築事業（神奈川県企業庁）

事業者名：神奈川県企業庁

事業名：神奈川県営発電所における遠隔モニタリングシステム構築事業

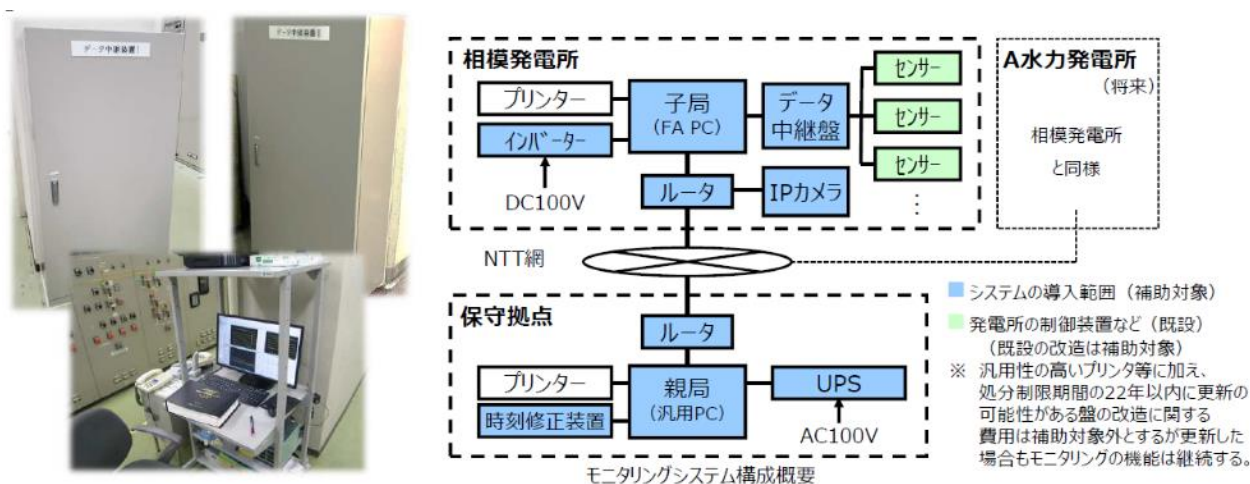


図 27 神奈川県営発電所における遠隔モニタリングシステム構築事業

1 実証事業の概要

神奈川県では、保全業務の効率化を図るため、県営発電所における運転状態及び各種計測値を遠隔地でモニタリングできるシステムを導入し、遠隔地に点在する複数の水力発電所の詳細な機器状態（動作トレンド、計測トレンド）、故障情報（故障発報データ）、映像データ（水車バレル室及び配電盤室等にカメラ設置）の収集、保存、「見える化」を進めている。システムでは、これらのデータを保守拠点の事務所へリアルタイムに伝送し、一括して集中管理することを目指している。令和3年度は主要発電所のひとつである相模発電所に遠隔モニタリングシステムを導入し、実証として以下に取り組んでいる。

- システム導入後のデータ収集・蓄積と合わせて、保守運用にて実際にシステムを用いながら、下記に対する有効性について確認
 - 経験の浅い職員の現場対応支援（カメラ映像を通じた拠点事務所と現場間での図面等の情報共有、拠点事務所から現場対応中の若手職員への助言等）
 - 故障発生時の対応
- 蓄積されるデータ及びその集計結果から、外部委託している巡視点検リストの見直しを検討

2 期待される効果

- 経験豊富な保守要員がカメラやトレンドデータを利用し、臨場した経験の浅い保守要員に遠隔地から指示・指導ができることによって、現場力の向上が期待できる。
- モニタリングデータを定期的に確認・分析することで、不具合兆候を未然に察知することができる。従来は、不具合発生時に現場に臨場するまでは確認ができなかった不具合の詳細項目を保守拠点事務所で確認できるため、対応策を踏まえたうえで現場へ臨場することが可能となり、効率的な保全業務の実現が期待できる。
- 常時発電所の状態に関するデータが収集されていることにより、故障発生がなくとも、現場で重点的に確認すべき項目をあらかじめ指示をしたうえで巡視業務を行うことができる。
- 巡視結果を待たずに、不具合兆候の察知が可能となり、軽微な状態で補修が可能となる。
- 計測データの蓄積・監視ができることから、巡視点検時の計測項目の削減による巡視業務の省力化が期待できる。また、これまで月 2 回の巡視点検時の数値データが 1 分毎のトレンドデータとして確認ができるため、機器状況のより高度な管理が可能になる。
- 巡視点検における計測項目を、モニタリングシステムで収集・蓄積されている値やその集計結果に置き換えることにより巡視点検の省力化につながる。また、巡視点検におけるデータ収集を不要とすることにより、より五感による現場の異常検出に注力できるようになる。

3 費用対効果・予算措置

- 近年、庁内での人材流動化が進んでおり、水力発電等の特定分野に特化したベテラン職員が育ち難い環境である。本実証事業についても、ベテラン職員の声として、若手職員へのノウハウ等の伝承が進んでいないという問題意識があったことがきっかけとなり、ノウハウや技術の継承も目的としてシステムを導入したという経緯がある。庁内の予算措置や事業化に係る意思決定に際してコストは大きな要素にはならなかった。
- また、令和元年度に実施された経済産業省が主催する WG において共有されたシステムの実績情報や、国としてスマート保安技術導入を推進しているという背景を上層部に説明していたことも導入を後押ししている。
- ランニングコストはほぼ発生せず、トラブル時にはメーカーへの相談も可能である。

4 人材確保・育成・技術継承

【デジタル人材確保・育成】

- 現時点で人材確保について特別な施策は実施していない。新しい技術についても勉強しながら対応している。
- 導入したシステムは通常の PC 操作と同様に扱うことができる点が特徴である。導入時に説明会を開催した後は特に勉強会等は実施していない。仮にシステム操作を間違えたとしても、発電所の設備・機器への影響はないため、実務で利用しながら操作を覚えていく方針である。

【保安技術継承】

- システムを通じて収集した動作トレンド・計測トレンドを用いて、経験豊富な保守要員から経験の浅い保守要員への指導を行うことができる。

5 ベンダーとの折衝

- 今回導入したシステムは 20 年程前から開発・運用されてきたシステムであるという実績があったため、機種選定の際の参考とした。

6 ネットワーク基盤・セキュリティ対策

- 今回導入したシステムはモニタリング専用のため、仮にシステムに不具合が生じた場合でも、機器の制御など発電への影響は生じない。

第6章 スマート保安技術の先行事例

以下に水力発電設備を対象としたスマート化技術導入に関する先行事例を示す。本章の内容は、第5章において示した実証事業ではカバーできていないスマート化技術や長年の運用を経たスマート化技術の事例を紹介するものである。

第1節 関西電力の事例

1 スマート化技術の概要

水面ドローン¹⁵¹⁶¹⁷

- 発電を停止し、導水路を排水した上で、点検員が目視で行っている導水路の内部点検を、発電を継続し、通水した状態で、カメラを搭載したドローンを用いて代替する。
- 水面を流下するドローンの水上部と水中部の両方にカメラを搭載し導水路壁面近くを安定して走行させることで、導水路内壁の状態を撮影する。撮影した映像をもとに、点検員が状態確認を行う。

AIを活用した流氷雪自動検知¹⁸¹⁹

- 監視員が遠隔でカメラ映像にて確認していた取水口付近の流氷雪の検知を、AIを活用した映像分析により自動化する。
- 映像分析により映像中から流氷雪のみを自動検知し、検知した旨を監視員に通知する。監視員は、通知を受けた後に映像を確認し、水門の閉止等の必要な措置を実施する。

2 スマート化技術の導入・運用における工夫

- 導入費用やランニングコストと、業務内容の変更、人の関わり方の変化等による金銭的メリットや発電量の増加等の効果を試算、比較して導入を検討した。
- 費用対効果が得られるスマート化の領域を見極めた。

¹⁵ https://www.meti.go.jp/shingikai/safety_security/smart_hoan/denryoku_anzen/pdf/20210430_1.pdf（閲覧日：2022/2/28）

¹⁶ https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2020/0611_1j.html（閲覧日：2022/2/28）

¹⁷ https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2020/pdf/0611_1j_01.pdf（閲覧日：2022/2/28）

¹⁸ https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2019/0926_4j.html（閲覧日：2022/2/28）

¹⁹ https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2019/pdf/0926_4j_01.pdf（閲覧日：2022/2/28）

3 スマート化技術によって得られた効果

水面ドローン

- 点検時の放水が不要のため発電中に点検することも可能であり、導水路延長 3 k mの発電所で 3 日程度発電停止が必要であったが、不要となる。
- 作業員導水管内の作業員入抗が不要となり、作業員の安全確保と点検負荷軽減が出来る。

A Iを活用した流氷雪自動検知

- 冬季に行っていたカメラ映像の常時監視が不要となるため、監視員の業務の削減、及び労働環境の改善が出来る。

第2節 北海道電力の事例

1 スマート化技術の概要²⁰

- 「保守支援装置」によって、水力発電所の設備情報を収集・遠隔伝送して、可視化する。
- これまで月に2回の巡視で確認していた設備状態（温度、振動等）や計器の値を、新たに計測機器やネットワークカメラを設置する等して遠隔伝送することで、発電所から離れた拠点で監視している。監視画面では、設備の動作状況や動作回数等を含めてトレンド表示が可能である。

2 スマート化技術の導入・運用における工夫

- 各発電所の大型工事に合わせて、保守支援装置やセンサーを適宜導入していった。また、既設のセンサ等を活用することで導入費用を抑制した。
- 様々なメーカーの制御盤から保守に必要なデータが収集できるように、メーカーの仕様に合せて設計、調整が可能な装置とした。
- 制御系と切り離したシステムとして、必要最低限の信頼性とメンテナンス性の向上を図り、汎用品を用いた安価なシステム構築を可能とした。
- 保守支援装置の導入後も、特に人材育成の観点で現場の設備に触れることが重要と考え、現場に人が赴く機会を作る、設備に触れることができる研修を行うといった工夫をしている。

3 スマート化技術によって得られた効果

巡視の観点

- 巡視時に現地で取得していたデータ項目数を、大幅に減らすことが出来た。
- データを遠隔で取得できているため、より五感に特化した巡視が可能になった。
- 巡視前に予め設備状態を把握することで、詳細に確認すべきターゲットを絞った重点的な巡視が可能になった。

事故の未然防止・復旧の観点

- 保守支援装置での閾値管理、トレンド確認等により、設備故障の6～8割を予兆段階で発見できている。
- 異常発生に伴う現場への移動時間において、他の保守要員が監視拠点にて保守支援装置を用いた原因分析を行い現場に到着した要員へ情報提供することが出来るため、復旧時間の削減が可能になった。

巡視、点検、オーバーホールの頻度検討の観点

- 遠隔での監視効果（閾値管理、トレンド確認等）を踏まえて、巡視頻度の延伸（月2回だったものを月1

²⁰ https://www.meti.go.jp/shingikai/safety_security/smart_hoan/denryoku_anzen/pdf/20210430_1.pdf（閲覧日:2022/2/28）

回に変更)を検討することが出来た。

- 遠隔での監視効果(閾値管理、トレンド確認等)を踏まえて、定期点検頻度の延伸(例えば3年に1回だったものを6年に1回とする等、2倍程度の延伸)を検討することが出来た。
- 保守支援装置によりオーバーホール(OH)の間の運転状況を把握し、OHの検査結果と組み合わせることで、OHの周期の延伸(2倍程度の延伸)を検討出来た。また、データに基づいて水車や部品の摩耗状況等の予測を行っている。

人材不足の観点

- 保守支援装置によって、自社の水力発電所が増加する中でも、保守要員の人数をほぼ増加させることなく保守管理を実施できている。