

経済産業省 商務情報政策局
産業保安グループ 電力安全課 御中

令和３年度新エネルギー等の保安規制高度化事業 （水力発電設備における保安高度化推進事業）

報告書

2022 年 3 月

エム・アール・アイリサーチアソシエイツ株式会社

目次

1. 事業概要	1
1.1 背景と目的	1
1.2 事業内容	1
2. 令和2年度スマート保安技術実証事業費補助金（産業保安高度化推進事業）の発電事業者への実証事業内容の調査	3
2.1 スマート保安技術実証事業（一次補正予算）	3
2.2 スマート保安技術実証事業（三次補正予算）	6
2.3 スマート保安技術実証事業調査のまとめ	7
3. スマート保安技術の先行導入事例調査	15
3.1 国内事例	15
3.1.1 関西電力の事例	15
3.1.2 北海道電力の事例	16
3.2 海外事例	18
4. 他分野のIoT等導入ガイドライン等調査	20
4.1 電気保安分野（水力を除く）、高圧ガス分野等	20
4.2 上下水道分野	24
4.2.1 下水道事業におけるICT活用検討（国土交通省）	26
4.2.2 下水道事業における新技術実証事業「B-DASH」（国土交通省）	26
4.2.3 下水道管路情報の共通プラットフォーム構築に向けたモデル実証事業（国土交通省）	30
4.2.4 水道情報活用システム導入支援事業（厚生労働省・経済産業省）	30
5. 水力発電設備のスマート保安に関するガイドライン「スマート化技術運用フェーズガイドライン」の策定	31
6. 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検討会	32
7. 公営水力等のスマート化技術導入における保安規程の検討	36
8. まとめ	38

表 目 次

表 2-1	スマート保安技術実証事業に参加した水力発電事業者.....	3
表 2-2	スマート保安技術導入実証事業（一次補正予算）の概要.....	5
表 2-3	スマート保安技術導入実証事業（三次補正予算）の概要.....	7
表 2-4	各実証事業と期待される主な効果	8
表 2-5	実証事業者の水力発電事業を取り巻く環境	9
表 2-6	スマート化技術の導入効果を定量的に表す指標の例.....	11
表 2-7	スマート化技術の導入による「質的な効果」の例.....	12
表 2-8	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.....	13
表 4-1	スマート化技術の導入効果を定量的に表す指標の例（再掲）	21
表 4-2	上下水道分野におけるスマート化で期待されている効果と評価指標例.....	25
表 4-3	スマート保安技術に関連する B-DASH 事業の調査結果.....	27
表 5-1	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の目次構成	31
表 6-1	第 1 回検討会の実施概要	33
表 6-2	第 2 回検討会の実施概要	34
表 6-3	第 3 回検討会の実施概要	35

1. 事業概要

1.1 背景と目的

FIT 制度の開始以来、我が国では太陽電池、風力をはじめとする再生可能エネルギーによる発電が増加の一途をたどっている。一方、旧来からある発電手法のうち、水力発電については、太陽光発電や風力発電と異なり安定的に電力の供給が可能な再生可能エネルギーとして、調整力の役割が期待されているところである。ただ、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公営等の中小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の定年退職等による保守管理体制の弱体化が懸念されているところであり、今後、設備の適切な保守管理を続けていくためには、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求められている。

「令和２年度補正産業保安高度化推進事業(水力発電設備における保安高度化推進事業)」においては、水力発電設備の ICT 等を活用した遠隔保守（スマート保安）を導入する際に参考となる「スマート化技術導入フェーズガイドライン」を検討した。

令和３年度は、水力発電設備の保守管理に係るスマート化技術導入の促進を図るため、導入フェーズガイドラインを踏まえ、スマート技術を用いた遠隔監視、巡視点検の「スマート化技術運用フェーズガイドライン」について検討した。

1.2 事業内容

(1) 令和２年度スマート保安技術実証事業費補助金（産業保安高度化推進事業）の発電事業者への実証事業内容の調査（仕様書 3.（１）及び（２）に対応）

同実証事業に採択された水力発電事業者に対し、（４）で策定するガイドラインのための情報収集（ヒアリング等）、分析等を実施した。なお、同実証事業は、一次補正予算（２０２０年開始、４者５事業）、三次補正予算（２０２１年開始、３者３事業）があり、それぞれのスマート保安導入・運用の状況に応じた調査を実施した。

(2) スマート保安技術の先行導入事例調査

スマート保安技術の先行導入事例について、国内外の文献調査等を行った。併せて、電力会社等に対して、（５）のガイドライン策定のために必要となるヒアリング調査を実施した。なお、先行事例としては、研究開発段階のスマート化技術についても調査対象とした。

(3) 他分野の IoT 等導入ガイドライン等調査

費用対効果の指標、人材育成、保守を遠隔化する際の留意点など、（５）のガイドライン策定のために参考となる他分野のガイドラインや文献等の調査を実施した。

(4) 水力発電設備のスマート保安に関するガイドライン「スマート化技術運用フェーズガ

イドライン」の策定

水力発電事業者が ICT 等を活用した遠隔保守をおこなうために参考となる「スマート化技術運用フェーズガイドライン」を検討した。

(5) 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検討会

ガイドライン策定に当たって、有識者による検討会を設置し、当該検討会において調査・検討内容の議論を実施した。

(6) 公営水力等のスマート化技術導入における保安規程の検討

今後、中小水力発電事業者が保安管理業務におけるスマート化技術を導入し、巡視点検頻度の見直しを検討する際に参考となるよう、事業者へのヒアリング調査結果を基に頻度見直し事例や課題等の整理を実施した。

2. 令和2年度スマート保安技術実証事業費補助金（産業保安高度化推進事業） の発電事業者への実証事業内容の調査

本事業で作成するスマート化技術導入ガイドラインは、水力発電設備における保安管理業務のスマート化に係るノウハウを水力発電事業者間で共有・水平展開することを目的としている。一方で、「令和2年度補正産業保安高度化推進事業（水力発電設備における保安高度化推進事業）」においては、スマート保安導入に係る課題の1つとして、スマート保安導入・運用に取り組まれた先行事例に関する公開情報が限定的であること等が明らかとなっている。また、今年度は、昨年度策定されたガイドラインが主な対象としていた「導入フェーズ」に続き、「運用フェーズ」において参考となるガイドラインを策定することとしている。

このような背景を踏まえ、本事業では、「令和2年度スマート保安技術実証事業費補助金（一次補正予算：産業保安高度化推進事業）」（以下、「スマート保安技術実証事業（一次補正予算）」という。）及び「令和2年度スマート保安技術実証事業費補助金（三次補正予算：産業保安高度化推進事業）」（以下、「スマート保安技術実証事業（三次補正予算）」という。）に採択された水力発電事業者に対するヒアリング調査を実施した。同実証事業は、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、高压ガス、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。表2-1に本章で調査対象とした同実証事業に参加した水力発電事業者を示す。

表 2-1 スマート保安技術実証事業に参加した水力発電事業者

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 山梨県企業局 宮崎県企業局 中国電力株式会社
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 徳島県企業局 神奈川県企業庁

※開始は交付決定月を記載

2.1 スマート保安技術実証事業（一次補正予算）

スマート保安技術実証事業（一次補正予算）は以下の4つに類型される。

類型 A（AI 実証）：

産業保安分野（電力、ガス、石油精製、石油化学、一般化学、高压ガス、鉄鋼分野のいずれか）を対象とした保安業務 AI の開発・実証

類型 B（防爆ドローン等）：

産業保安分野（電力、ガス、石油精製、石油化学、一般化学、高圧ガス、鉄鋼分野のいずれ か）を対象とした防爆ドローン等の開発・実証

類型 C（発電所遠隔制御）：

火力・水力・太陽光発電所等を対象とした IoT 機器・データ利活用による保安業務の現場作業 における省人・遠隔化技術の開発・実証

類型 D（スマート鉄塔）：

送電鉄塔を対象とした IoT 機器・データ利活用による保安業務の現場作業における省人・遠隔 化技術の開発・実

ヒアリング調査を実施した実証事業は、いずれも上記類型のうち、類型 C（発電所遠隔制御）に該当する。スマート保安実証事業（一次補正予算）の概要を表 2-2 に示す。

表 2-2 スマート保安技術導入実証事業（一次補正予算）の概要

実証事業名	実証事業の概要
水力発電所遠隔モニタリング実証事業（長野県）	温度、振動等新たなセンサー類を設置し、機器情報のデータ化やトレンド管理、故障時等の導入の状況を分析し、有用性を実証
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）	・インターネット回線を利用したWebカメラ等による遠隔監視・制御、遠隔指示による省力化 ・センサー蓄積データ情報の分析と活用
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）	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
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）	・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
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）	・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 ・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

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」（https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/hoan_seido/pdf/004_03_00.pdf（閲覧日:2022/2/28））に基づき作成

これらの水力発電事業者に対しては、昨年度にもヒアリング調査を実施しており、今年度はさらにスマート化技術導入後の運用フェーズにおける取組状況等を調査した。

＜スマート保安技術実証事業（一次補正予算）の主なヒアリング項目＞

- 実証事業開始前の計画と現在の取組状況とのギャップ（計画通りにスマート保安導入・運用が出来た／出来なかった要因等）
- スマート化技術導入後の運用フェーズで直面した課題
- 導入したスマート化技術の費用対効果に関する取組（費用対効果の算定方法・結果等）
- スマート化技術導入後の人材育成や保安業務の技術継承に関する取組状況

実証事業内容の調査結果は、別添資料の「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」の第5章に事例集として整理した。

2.2 スマート保安技術実証事業（三次補正予算）

スマート保安技術実証事業（三次補正予算）は以下の3つに類型される。

① 類型 A（AI 実証）：

産業保安分野（電力、ガス、石油精製、石油化学、一般化学、高圧ガス、鉄鋼分野のいずれか）を対象とした、異常検知による事故・故障等の未然防止、予兆検知による O&M 改善、運転・点検の自動化等、AI 等の先進技術（利用可能な学習データが少ない状況でも、正確性・説明可能性を担保する等の保安業務に特化した技術的特徴を有するもの）導入により、高度なプラント監視と意思決定の高度化を実現する取り組みの実証

② 類型 B（防爆モビリティ（防爆ドローン、防爆ローバー等））：

産業保安分野（電力、ガス、石油精製、石油化学、一般化学、高圧ガス、鉄鋼分野のいずれか）を対象とした、防爆モビリティ（防爆ドローン、防爆ローバー等）による高所・危険領域点検、巡回による監視データ自動取得等、ハードウェアを活用して、現場作業効率化を実現する取り組みの実証

③ 類型 C（データ収集・活用）：

産業保安分野（電力、ガス、石油精製、石油化学、一般化学、高圧ガス、鉄鋼分野のいずれか）を対象とした、各種センサー、カメラ、モビリティ（防爆モビリティを除く）等の IoT 機器等を活用した高度なセンシング技術、新たなデータ収集・蓄積手法、そのデータを活用するシステム等の組み合わせにより、保安活動や設備利用の効率化・高度化等を実現する手法の実証。

このうち各分野のアクションプランにおいて中長期的に取り組むこととされている高度な技術開発要素を伴う取り組みを類型 C-1、類型 C-1 に該当しない取組を類型 C-2 として定義

スマート保安技術実証事業（三次補正予算）の概要を表 2-3 に示す。なお、ヒアリング調査を実施した実証事業のうち、長野県企業局は類型 A（AI 実証）、徳島県企業局及び神奈川県企業庁は類型 C（データ収集・活用）に該当する。

表 2-3 スマート保安技術導入実証事業（三次補正予算）の概要

実証事業名	実証事業の概要
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）	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を構築
企業局「スマート保安」推進事業（徳島県）	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、Wi-Fi環境を整備し、ネットワークカメラ、ウェアラブルカメラ及び水中ドローンを導入
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）	保全業務の効率化を図るため、主要発電所1カ所を対象として、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。詳細な機器状態、故障情報、映像データを収集、保存、「見える化」

これらの水力発電事業者に対しては、スマート化技術の導入フェーズにおける留意事項等を中心にヒアリング調査を実施した。

＜スマート保安技術実証事業（三次補正予算）の主なヒアリング項目＞

- 実証事業の概要
- 期待される効果
- 費用対効果・予算措置
- 人材確保・育成・技術継承
- ベンダーとの折衝
- ネットワーク基盤・セキュリティ対策

実証事業内容の調査結果は、別添資料の「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」の第5章に事例集として整理した。

2.3 スマート保安技術実証事業調査のまとめ

ヒアリング調査を通じて得られた情報に基づき、各水力発電事業者がスマート保安を通じて期待する効果と、スマート保安導入に取り組む背景について、表 2-4、表 2-5 に整理した。

表 2-4 各実証事業と期待される主な効果

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
水力発電所遠隔モニタリング実証事業（長野県）	●	●	●	●	●	
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）	●	●		●	●	
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）	●	●		●		
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）	●	●	●	●	●	
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「スマート保安」推進事業（徳島県）	●	●		●	●	
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 2-5 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
1	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。
2	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。
3	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）	
4	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。
5	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）	事例1に同じ
6	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。
7	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。

また、主にスマート保安技術実証事業（一次補正予算）（5 事業 4 事業者）へのヒアリング結果や昨年度までの調査結果に基づき、スマート化技術導入後の運用フェーズでの取組のうち、公営等の中小水力発電事業者の関心が高く、スマート保安に関心を持つ水力発電事業者において共通的に参考となる情報として、以下に示す 3 点を整理した。

① 導入技術によって得られる効果の定期的な評価

スマート化技術導入前に計画した期待する効果に対して、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。以上を踏まえ、ヒアリング結果等に基づき、期待される効果を定量的に表す指標例を整理した結果を表 2-6 に示す。なお、指標例は、3.1 に示す国内での先行事例や 4 に示す他分野の事例（費用対効果の指標）も参考に作成した。

表 2-6 スマート化技術の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の対応が迅速化される効果。	・ 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の増加 ・ 早期復旧による溢水電力量の削減
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 ・ 山間部等の危険個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

また、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（表 2-7）。

表 2-7 スマート化技術の導入による「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。ヒアリング結果に基づき、導入した技術別に想定される主な課題や課題への対応、留意点について整理した結果を表 2-8 に示す。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と考えられる。

表 2-8 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か）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、閾値を上限值・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、発電所のリブ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。
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。

③ 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）

ヒアリングを通じて、スマート化技術の導入後、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以下の取組の重要性が示唆された。

● 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。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、組織内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。

3. スマート保安技術の先行導入事例調査

前章にて調査した実証事業以外に、水力発電所を対象としたスマート保安技術導入に係る国内外事例を調査した。

3.1 国内事例

関西電力及び北海道電力による水力発電設備のスマート化技術導入を対象として、導入したスマート化技術の概要、スマート化技術の導入・運用における工夫、スマート化技術導入によって得られた効果についてヒアリング調査を実施した。

関西電力では、前章の実証事業では取り組まれていない水面ドローンや AI を活用した流氷雪自動検知といったより先進的な技術の導入に取り組んでおり、今後、公営等の中小水力発電事業者が取り組む際の参考となる。北海電力では、実証事業でも多く取り組まれている遠隔モニタリングとして「保守支援装置」を導入している。導入効果として、設備故障の 6 ～ 8 割を予兆段階で発見できており、巡視、点検、オーバーホールの頻度の検討につながっていることは、費用対効果の把握が課題となっているスマート保安導入において参考になる点として挙げられる。以下に各事例の概要を示す。

3.1.1 関西電力の事例

(1) スマート化技術の概要

1) 水面ドローン¹²³

- 発電を停止し、導水路を放水した上で、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。

2) AI を活用した流氷雪自動検知⁴⁵

- 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

¹ https://www.meti.go.jp/shingikai/safety_security/smart_hoan/denryoku_anzen/pdf/20210430_1.pdf（閲覧日:2022/2/28）

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

³ https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2020/pdf/0611_1j_01.pdf（閲覧日:2022/2/28）

⁴ https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2019/0926_4j.html（閲覧日:2022/2/28）

⁵ https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2019/pdf/0926_4j_01.pdf（閲覧日:2022/2/28）

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。

(3) スマート化技術によって得られた効果

1) 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。

2) AI を活用した流水雪自動検知

- 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。

3.1.2 北海道電力の事例

(1) スマート化技術の概要⁶

- 「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

⁶ https://www.meti.go.jp/shingikai/safety_security/smart_hoan/denryoku_anzen/pdf/20210430_1.pdf（閲覧日:2022/2/28）

様に合せて設計、調整が可能な装置とした。

- 制御系と切り離れたシステムとして、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

1) 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。

2) 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。

3) 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。

4) 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。

3.2 海外事例

海外事例としては、より先進的な取り組みを把握するため、「HYDROPOWER EUROPE Research & Innovation Agenda (RIA)」(2021 年 11 月)⁷について調査した。RIA は、HYDROPOWER EUROPE フォーラムが、今後数十年にわたって水力発電事業の生産性を高めることを目的とし、EU における水力発電に関する研究開発課題や優先順位(6 段階)、推奨着手時期等を示すものである。以下の 7 つにグルーピングされた 18 の研究テーマが策定されている。

Increasing flexibility (柔軟性の向上)

Optimisation of operations and maintenance (O&M の最適化)

Resilience of electromechanical equipment (電気機械設備のレジリエンス)

Resilience of infrastructures and operations (インフラ及び運転のレジリエンス)

Developing new emerging concepts (新しいコンセプト開発)

Environmental-compatible solutions (環境対応型ソリューション)

Mitigation of the impact of global warming (地球温暖化の影響緩和)

スマート保安と関連性が特に高い項目として「O&M 最適化」があり、「デジタル化と AI による計測・制御の高度化」と「予知保全とメンテナンス間隔最適化のための監視システム」が研究テーマとして挙げられている。以下にこれらのテーマの概要を示す。

● デジタル化と人工知能による計測・制御の高度化

本研究テーマは、優先順 High (上から 3 番目) として、2030 年までの着手が推奨されている。研究課題の概要を以下に示す。

- 「気象・流量予測と生産計画、洪水リスク軽減、環境流量、その他の利水との統合」のための取組として、既存データへの AI 適用、気象・洪水予測、気象予測モデルや衛星データを用いた高性能流入予測モデルの開発、洪水初期対応(放水等)の最適化、生産計画の改善と一般利水(例：灌漑、観光など)の最適化等
- 意思決定プロセスの改善のための「知識ベースシステムの開発」として、電力市場モデル、環境負荷のモニタリング・予測、流入量予測モデル等を含むデジタルツインの開発
- 水力発電所のレジリエンスやリスク評価能力の向上、異なるダムや水力発電所のデータを有効活用するための「AI アルゴリズム適用の基準と方法論の開発」として、予測モデルの開発、警報閾値の開発、データ標準化・匿名化のための基準の開発(ダムモニタリングデータ管理のための共通リポジトリの開発)

⁷ https://hydropower-europe.eu/private/Modules/Tools/EUPProject/documents/53/HPE_RIA_D4-7_WP4-DlRp-53_vFINAL.pdf (閲覧日:2022/2/28)

- 設備・機器状態を評価するための適切な指標開発のための「安価かつ設置が容易な産業用 Wi-Fi 対応センサー／アクチュエーター／コントローラーの開発」として、リアルタイムのデータ収集・モニタリングプロセスの開発、エッジコンピューティング（サイバーセキュリティを含む）の開発、診断支援ツール（専門家の診断結果をモデル化）の開発

- 予知保全と保全間隔の最適化のためのモニタリングシステム

本研究テーマは、優先順 **High to VeryHigh**（上から 2 番目）として、2030 年までの着手が推奨されている。研究課題の概要を以下に示す。

- 疲労や摩耗を考慮した機器の構造やコーティングの選択や改善のための「要求寿命に対する材料影響を評価するモニタリング技術の開発」
- 予知保全（故障の予測／早期発見、根本原因の自動特定、ダウンタイムの最小化）や最適なメンテナンス間隔の予測のための「インテリジェントセンサーによる新しいオンラインモニタリングと診断システムの開発」

これらのテーマは、前章で調査した実証事業において取り組まれている内容とも親和性の高い内容となっているが、より先進的であるといえる。例えば、実証事業には無かった特徴的な取組としては、気象・流量予測における衛星データの活用、灌漑などの一般利水も含めた最適化、複数発電所のデータを統合して利用するためのデータ標準化・匿名化に関する基準の開発（ダムモニタリングデータ管理のための共通リポジトリの開発）、デジタルツイン開発等が挙げられる。また、このような、業界として研究開発の特定や優先順位を決めるといった取組自体が、スマート保安推進においても参考になるものと考えられる。

4. 他分野の IoT 等導入ガイドライン等調査

費用対効果の指標、人材育成、保守を遠隔化する際の留意点など、スマート化技術導入ガイドライン策定のために参考となる他分野のガイドラインや文献等の調査を実施した。

4.1 電気保安分野（水力を除く）、高圧ガス分野等

費用対効果の指標

電気保安分野（水力を除く）や高圧ガス分野等のプラントを対象としたスマート保安導入の事例について調査し、水力発電でのスマート化技術導入の費用対効果の指標を検討する際に参考となる情報を抽出した。調査対象とした主な文献を以下に示す。

- ① 「スマート保安事例集」（経済産業省）⁸
- ② 「プラントにおける先進的 AI 事例集～AI プロジェクトの成果実現と課題突破の実践例～」（石油コンビナート等災害防止 3 省連絡会議（経済産業省、厚生労働省、総務省消防庁））⁹

これらには、具体的な費用対効果の算出プロセスは示されていないものの、スマート保安導入の効果や背景課題が整理されている。費用対効果を考える上では、効果を表す指標を設定した上で、その指標を定量化することになるため、これらの事例で示されている導入効果を整理することで水力発電保安管理業務でのスマート化技術導入効果の指標の検討にも役立つものと考えられる。

上記①スマート保安事例集においては、「保安業務の背景課題（業界課題）」と「スマート保安の期待される効果」が体系的に整理されている。「保安業務の背景課題（業界課題）」については、保安力の向上と経済性の担保を同時に達成することを目的として、以下の 3 つに大別している。

- ・ 「長期的な人材不足への対応、ノウハウの伝承（ヒトの観点）」
- ・ 「設備トラブルの防止、設備の高経年化対策（モノの観点）」
- ・ 「保安業務にかかる費用抑制・頻度最適化（カネの観点）」

また、スマート保安に期待される効果については、以下の 4 つに大別している。

- ・ ノウハウの見える化
- ・ 点検・監視業務の自動化
- ・ 点検・監視業務の遠隔化
- ・ 異常検知・予兆の機能向上

上記②プラントにおける先進的 AI 事例集においては、「AI が解決策となる課題」として「プラント保安人材」、「設備保安管理」、「生産性の向上」を挙げ、これらの課題に紐づく形で「AI の導入効果」が抽出されている。「AI の導入効果」としては以下の 8 つに分類されている。

⁸ https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/smart_industrial_safety/jireisyu_r2.pdf（閲覧日:2022/2/28）

⁹ <https://www.meti.go.jp/press/2020/11/20201117001/20201117001-4.pdf>（閲覧日:2022/2/28）

- ・ ノウハウ継承
- ・ 判断基準の平滑化
- ・ 高頻度化
- ・ 人的ミスの検知
- ・ 計画高度化
- ・ 負荷低減
- ・ 早期発見
- ・ 生産性向上

費用対効果の指標は、これらの効果あるいは課題解決の度合いを定量的に表すものになる。つまり、例えば、人材不足への対応という課題に対するスマート化技術導入の効果を表す指標としては、業務に要した人員や工数の増減として測ることができる。表 2-6 に示した水力発電でのスマート化技術導入による効果とその指標例は、上記に挙げた効果の事例や考え方を参考に整理しており、以下に再掲する。

表 4-1 スマート化技術の導入効果を定量的に表す指標の例（再掲）

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の対応が迅速化される効果。	・ 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の増加 ・ 早期復旧による溢水電力量の削減
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

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
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 - 山間部等の危険個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

人材育成

スマート化技術導入・運用において着目すべき人材育成の主な観点としては、スマート化技術導入・運用に必要な知見を持つ人材（デジタル技術に長けた人材）の育成、熟練者の技術・ノウハウの継承が挙げられる。前者については、デジタル技術に関わる資格の受験やeラーニング受講環境の整備といった解決策が挙げられている。また、対象となる人材の素養や必要な知識レベルに応じて社内外の講座を選択するといった工夫も挙げられている。後者については、熟練者の五感や経験を頼りに実施されてきた業務上のノウハウが、スマート化を通じて非熟練者に継承される事例が挙げられている。例えば、システム化やデータ化（トレンドグラフ化）がなされることで、それまで暗黙知とされていたノウハウが見える化（定量化）され、人材育成のための教材（熟練者と非熟練者との間での議論の題材等）としても活用可能となる。以上の人材育成に係る考え方や課題解決は、水力発電でのスマート化技術導入においても有効であると考えられる。

保守を遠隔化する際の留意点

「汽力及び大型ガスタービン発電所における遠隔常時監視制御導入の手引き」（令和3年4月、経済産業省）¹⁰では、火力発電所の運転に係る監視又は制御の遠隔化に関する留意事項等が示されている。

発電所構外での遠隔監視制御を導入するにあたっては、あらかじめ遠隔常時監視・制御に必要な設備（構外の監視制御所、通信設備含む。）・体制等を検討する必要がある、そ

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

のためのリスク評価のポイントが以下の通り挙げられている（詳細は脚注 10 の第 3 章を参照）

- ・ 経年劣化等に対する対策
- ・ 大規模自然災害発生時のリスク対策
- ・ 人為的攻撃等（侵入者、サイバー攻撃）に対するリスク対策
- ・ 技術員の能力に関するリスク
- ・ 監視と制御場所が異なることによるコミュニケーションリスク

なお、火力発電と水力発電では発電規模や運転管理の内容、規制基準等が異なることから、潜在リスクの大きさも当然異なるため、これらのポイントについて必ずしも火力発電と同様の対応が必要になるとは限らないことに留意が必要である。

4.2 上下水道分野

上下水道事業では、浄水場や下水処理場等の運転監視・点検・維持管理は人の手で実施することが主流となっている。一方、職員数の減少により、リソース不足やノウハウ等の技術継承が課題となっている。また、設備・施設の老朽化や、人口減少に伴う上下水道の需要減少による収益減少も課題となっている。これら課題の解決策として、ICTやIoT等のスマート化技術の導入が進められている。

本項目では、上下水道事業の保守・保安業務へのスマート化技術導入に関する取組について調査し、費用対効果の指標、人材育成、保守を遠隔化する等の留意点について整理した。

調査の結果、上下水道事業においては、スマート化技術の導入によって期待される主な効果として、運用・維持費の削減、保守作業に係る時間・負担の軽減、品質のばらつき低減があることが明らかになった。また、スマート化技術の導入に伴いデジタル化されたデータ（過去の点検簿、タブレットで撮影した写真・動画等）は、人材育成における活用も見込まれている。一方、持ち出し機器の落下等による破損や、情報漏えいのリスクも考慮されていることも明らかになった。表 4-2 に調査結果から得られた期待される効果と評価指標を示す。また、次節以降に各事例の概要を示す。

表 4-2 上下水道分野におけるスマート化で期待されている効果と評価指標例

事業名	導入技術	期待される効果	評価指標の例
下水道事業における ICT 活用検討(国土交通省)	Web 広域監視システム	処理場の維持管理費の削減	システム化費用（工事費、運用費）、人件費（委託費、職員）
	現地点検・調査技術への ICT 活用	現地点検・調査費用の削減	維持管理費、人件費、日常点検点数等
B-DASH（国土交通省）	クラウド活用によるストックマネジメントシステム	日常点検業務の改善（点検項目の省力化）	年間に要した点検時間
		ストマネ計画策定業務の改善（情報収集・整理等の関連業務の省力化）	関連業務に係る作業に要した費用
		全体費用の削減	上記省力化に伴う作業時間およびコストの削減量
	段階型管路診断システム	経済性の向上	調査コストの縮減率、日進量の期間縮減率
		品質の向上（従来技術と比較した有効性）	机上・現地スクリーニングの緊急度適合率および異常検出率、ICT データ入力・蓄積による点検時間短縮率
	劣化状況把握・診断技術	点検周期延長、作業効率化、異常早期発見等	費用対効果の指標として下式を使用 経費回収年＝建設費/(導入効果－維持管理費)
下水道管路情報の共通プラットフォーム構築に向けたモデル実証事業（国土交通省）	下水道台帳管理システム	- 日常的な業務の効率化、施設管理の高度化 - 点検及び調査結果等の維持管理情報の効率的な入力 - 共通プラットフォームの活用を想定した電子化情報の受け渡し	初期整備費、維持管理費、業務改善効果、スペース削減効果（費用換算）
水道情報活用システム導入支援事業（厚生労働省・経済産業省）	水道情報活用システム	- システムの投資コストとランニングコストの削減 - 各事業者のノウハウ等の共有 - データのデジタル化による、さらなる費用削減と業務効率化	初期導入費、運用・保守費等

4.2.1 下水道事業における ICT 活用検討（国土交通省）

国土交通省水管理・国土保全局による「下水道における ICT 活用に関する検討会」（平成 24 年 12 月設置）は、下水道事業が抱える課題の整理、ICT 技術活用の検討、既に ICT を活用している自治体での導入効果等の検証を実施している¹¹。

ICT 導入済みの自治体での導入効果として、長崎県長崎市および兵庫県多可町における Web 広域監視システム導入事例を取り上げ、そのシステム導入効果を導入前後の費用比較によって検証している。費用算定は、システム化費用（工事費、運用費）や人件費（外部委託費、人件費（職員））の観点で実施している（詳細は、脚注 11 の表 5-1、表 5-2 参照）。

4.2.2 下水道事業における新技術実証事業「B-DASH」（国土交通省）

国土技術政策総合研究所が設置した下水道技術開発会議による下水道技術ビジョン・ロードマップ重点課題¹²に基づき、新技術の研究開発及び実用化の加速を目的として下水道革新的技術実証事業（B-DASH）が開始されている。

本実証事業では全 5 テーマ（下水汚泥処理・利用、水処理、管路管理技術、浸水対策技術、その他）に対する新技術を公募し、国土技術政策総合研究所から委託研究する形で技術実証を行っている。また、各事業成果は国土技術政策総合研究所によって一般化され、技術導入ガイドラインとして公開されている。令和 3 年度現在までの採択事業のガイドラインを対象として、人材育成や費用対効果等に関するポイントを表 4-3 に整理した。

¹¹ <https://www.mlit.go.jp/common/001031194.pdf>（閲覧日:2022/2/28）

¹² <http://www.nilim.go.jp/lab/eag/roadmapjyutenkadai.html>（閲覧日:2022/2/28）

表 4-3 スマート保安技術に関連する B-DASH 事業の調査結果

採択 年度	実証事業名	人材育成効果	費用対効果の指標		その他の留意点
			定量的	定性的	
平成 30 年	クラウドを活用し維持管理を起点とした継続的なストックマネジメントシステムの実用化に関する実証事業 ¹³	● 点検結果と紐付けされた写真・動画等の共有 ● 現場機器に取り付けた AR タグ読み取りによる過去の点検簿の迅速表示	● 日常点検業務の省力化 ● ストマネ計画策定業務の省力化 ● ストマネに係る全体費用の縮減	● ストマネ計画策定時に算出したデータを継続利用によって事業が効率化 ● 複数の施設情報の容易な一元管理が可能 ● 性能劣化シミュレーションに基づく改築の優先順位判断が可能	(記載なし)
平成 30 年	ICT を活用した総合的な段階型管路診断システムの確立にかかる実証事業 ¹⁴	(記載なし)	● 調査コストの縮減率 ● 日進量の期間縮減率 ● 机上、現地スクリーニングの緊急度適合率および異常検出率) ● 管渠調査、不明水調査の適合率 ● ICT データ入力、蓄積による点検時間の短縮	● 機器の必要性能 ● 技術の適用範囲 ● 現行情報システムとの親和性 ● 劣化予測や調査に必要な要員等の専門技術性	(記載なし)

※国土技術政策総合研究所が公開している B-DASH 事業の各ガイドラインの内容に基づき作成（各ガイドラインの URL は脚注参照）

¹³ <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn1140.htm>（閲覧日:2022/2/28）

¹⁴ <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn1149.htm>（閲覧日:2022/2/28）

表 4-3 スマート保安技術に関連する B-DASH 事業の調査結果（続き）

採択 年度	実証事業名	人材育成効果	費用対効果の指標		その他の留意点
			定量的	定性的	
平成 27 年	ICT を活用した 下水道施設の劣 化状況把握・診 断技術の実証事 業 ¹⁵	(記載なし)	下式の経費回収費より判断 $\text{経費回収年} = \text{建設費} / (\text{導入効果} - \text{維持管理費})$ ● 建設費 測定機器の購入・設置や分析ソフト購入・通信 設備工事等 ● 維持管理費 センサーの校正、分析装置のチューニング ● 導入効果 技術導入によって期待できる効果（点検周期 延長、作業効率化、異常早期発見等）による年 間のプラス効果	(記載なし)	(記載なし)

※国土技術政策総合研究所が公開している B-DASH 事業の各ガイドラインの内容に基づき作成（各ガイドラインの URL は脚注参照）

¹⁵ <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1137.htm>（閲覧日:2022/2/28）

表 4-3 スマート保安技術に関連する B-DASH 事業の調査結果（続き）

採択 年度	実証事業名	人材育成効果	費用対効果の指標		その他の留意点
			定量的	定性的	
平成 27 年	ICT を活用する 劣化診断技術お よび設備点検技 術実証事業 ¹⁶	（記載なし）	● 故障予防による損害低減 ● 補修点検周期延伸によるコスト削減 ● 診断効率化による作業量低減 ● 診断高度化による誤差低減と精度向上 ● モニタリングデータ蓄積による劣化診断・予測の精度向上 ● 設置環境下における劣化・耐久性に関する調査 ● 精密診断の実施回避効果	【連続センサー】 ● 技術者の技能や測定位置のずれによる測定結果のバラつきを排除可能 ● 異常検知を電子メールで通報するため、突発故障の未然防止が可能 【タブレット点検】 ● 電子データ化の転記作業が不要 ● 現地での過去データの閲覧が可能 ● 現地での入力ミスや入力漏れを軽減可能	【タブレット点検】 ● 衝撃や水滴による端末破損や水槽への落下リスクがある ● 情報漏えいのリスクがある ● タブレットの充電

※国土技術政策総合研究所が公開している B-DASH 事業の各ガイドラインの内容に基づき作成（各ガイドラインの URL は脚注参照）

¹⁶ <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn1138.htm>（閲覧日:2022/2/28）

4.2.3 下水道管路情報の共通プラットフォーム構築に向けたモデル実証事業（国土交通省）

本モデル実証事業は、日本下水道協会が作成した「下水道台帳管理システム標準仕様書（案）・導入の手引き ver.5」に準じた電子台帳の導入による①日常的な業務の効率化、施設管理の高度化、②点検及び調査結果等の維持管理情報の効率的な入力手法、③共通プラットフォームの活用を想定した電子化情報の受け渡し手法の調査・検討・実証を行っている。

日本下水道協会が作成した上記の下水道台帳管理システム標準仕様書には、台帳の調整・閲覧機能を導入した場合の費用対効果に関する分析例が掲載されている。その分析例では、初期整備費や維持管理費を始め、システム導入によって事務処理時間がどの程度削減されたかという業務改善効果やスペース削減効果等、計 5 つの検討項目ごとに費用対効果を算出している。

4.2.4 水道情報活用システム導入支援事業（厚生労働省・経済産業省）

厚生労働省では CPS/IoT 活用による事業効率化や水道サービスの高付加価値化等を推進するための支援事業「水道事業における IoT 活用推進モデル事業」¹⁷を平成 30 年度より開始している。また、経済産業省と連携して、令和 2 年度から令和 4 年度までに水道情報活用システムを導入する水道事業者を対象にした「水道情報活用システム導入支援事業」¹⁸も開始している。

水道情報活用システムについて、平成 31 年 4 月には「水道情報活用システム導入の手引き」¹⁹が公開されており、その手引きにおいて、システムを導入することによって以下の効果が期待されることが示されている。

- システムの投資コストとランニングコストの削減

水道情報活用システムはクラウド型サーバーを用いて事業者間で共同利用するシステムであるため、投資コストとランニングコストの削減が期待されている。例として、3 つの事業者が浄水場内外施設の監視制御で水道情報活用システムを共同利用した場合、初期導入費と運用・保守費が 3 事業者合計で約 35.8 億円/15 年削減できると試算されている（※脚注 19 の表 4 参照）。

- 各事業者のノウハウ等の共有

プラットフォームを複数の事業者等で共同利用するため、様々な情報を事業者間で利用可能になる。また、需要予測アプリケーション（※脚注 19 の図 16 参照）を基に、熟練者の知見を共有することが可能になると考えられている。

- データのデジタル化による、さらなる費用削減と業務効率化

上記の効果以外にも施設統廃合の検討効率化、台帳整備の効率化、遠隔監視の最適化、災害対応業務の変革等の効果があると考えられている。

¹⁷ https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/seibi/index_00002.html（閲覧日:2022/2/28）

¹⁸ <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000701788.pdf>（閲覧日:2022/2/28）

¹⁹ <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000568595.pdf>（閲覧日:2022/2/28）

5. 水力発電設備のスマート保安に関するガイドライン「スマート化技術運用フェーズガイドライン」の策定

前章までの調査結果や検討会での議論等を通じて、「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」を作成した。今年度は、「令和2年度補正産業保安高度化推進事業（水力発電設備における保安高度化推進事業）」において作成したスマート化技術の導入フェーズを対象とした内容に対して、運用フェーズを対象とした内容を追記した。表 5-1 に作成したガイドラインの目次を示す。

表 5-1 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の目次構成

目次構成	概要
第1章 本ガイドラインの目的 第1節 はじめに 第2節 適用範囲 第3節 用語及び定義	本ガイドラインを作成する背景、目的、適用範囲、用語の定義を記載。
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 第2節 スマート保安の方法と保安管理業務のプロセス 第3節 スマート保安導入により期待される効果	水力発電設備を対象とした保安の全体像や課題、スマート化に向けた道筋や将来像（2025年の絵姿）について、「スマート保安官民協議会・電力安全部会」での議論も踏まえて紹介。
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 第2節 スマート化計画の策定における留意事項 第3節 スマート化計画の策定のためのチェックリスト	スマート化計画立案時に必要な検討項目や考え方を記載。また、計画策定における留意事項等を確認するためのチェックリスト例を掲載。
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 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	スマート化技術導入効果の測定方法、スマート化技術の継続的な維持・管理、スマート化技術の浸透・人材育成について記載。
第5章 水力発電設備における保安管理業務のスマート化事例 第1節 実証事例1（長野県） 第2節 実証事例2（長野県） 第3節 実証事例3（山梨県） 第4節 実証事例4（宮崎県） 第5節 実証事例5（中国電力） 第6節 実証事例6（徳島県） 第7節 実証事例7（神奈川県）	実証事業に参加している事業者へのヒアリング調査を基に、実証事業で直面した課題やその克服方法等の取り組みについて記載。
第6章 スマート保安の先行導入事例	第5章の実証事業以外の事例として、先行してスマート保安に取り組んでいる事業者の事例を紹介。

6. 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検討会

「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検討会」(以下、検討会という)を3回開催し、事務局として調整・取りまとめを行った。具体的には、前章までの調査結果の報告、ガイドライン案の提示、出席者の日程調整、議事録の作成等、運営を行った。検討会の委員は、専門性を踏まえ、経済産業省電力安全課殿と協議の上、以下のメンバーを選定した。

<委員> (敬称略)

青山 和浩	東京大学工学系研究科人工物工学研究センター	教授
喜田 勝彦	公営電気事業経営者会議	事務局長
齋藤 知久	電気事業連合会 立地電源環境部	副部長
澤田 賢治	電気通信大学 i-パワードエネルギー・システム研究センター	准教授
平井 和行	株式会社 明電舎 社会インフラ事業企画本部	ソリューション企画部

表 6-1 から表 6-3 に第1回から第3回までの検討会の実施概要を示す。

表 6-1 第 1 回検討会の実施概要

日 時：2021 年 9 月 7 日（火）16：00～18：00 場 所：Web 会議		
議事次第	1. 開会 2. 経済産業省殿よりご挨拶 3. 委員紹介 4. 事業概要 5. 運用フェーズガイドラインの執筆方針 6. 今後のスケジュール確認	
配付資料	資料 1-1 議事次第 資料 1-2 委員名簿 資料 1-3 本事業の概要 資料 1-4-1 運用フェーズガイドラインの執筆方針 資料 1-4-2 今年度事業の業務範囲とガイドライン目次との対応 資料 1-4-3 スマート保安の定義・運用フェーズの位置付け 資料 1-4-4 実証事業の概要 資料 1-4-5 先行導入事例及びガイドラインの調査について 参考資料 1-1 本事業の仕様書 参考資料 1-2 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 第一版－導入フェーズ－（令和 3 年 4 月）	
主な議論・意見	・ 昨年度作成した「導入フェーズ」ガイドラインと今年度追加する「運用フェーズ」の違いを明確化する必要がある。 ・ 成功事例だけでなく、失敗事例も有用な情報である。導入フェーズで期待した効果が、運用フェーズにおいて実際に得られた例だけでなく、期待通りでなかった場合はその原因も含めてガイドラインに記載した方が良い。 ・ ガイドライン作成においては、実証事業ヒアリングが重要な情報源になる。特に先行事例である一次補正予算事業のヒアリング内容は、ガイドラインの立て付けの検討としても活用できる。導入フェーズと運用フェーズの差異をしっかりと把握した方が良い。	

表 6-2 第 2 回検討会の実施概要

日 時：2021 年 12 月 21 日（火）10：00～12：00 場 所：Web 会議		
議事次第	1. 開会 2. 前回議事録の確認 3. 実証事業ヒアリング結果の概要 4. スマート化技術導入ガイドラインの概要 5. 今後のスケジュール	
配付資料	資料 2-1 議事次第 資料 2-2 委員名簿 資料 2-3 第一回検討会議事録 資料 2-4 実証事業ヒアリング結果の概要 資料 2-5 スマート化技術導入ガイドラインの概要 資料 2-6 今後のスケジュール 参考資料 2-1 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導入ガイドライン 第一版（ドラフト版）	
主な議論・意見	・ ガイドライン中の事例紹介では、各事例の背景（各事業者の課題やスマート化導入の背景・モチベーション）にも言及した方が良い。 ・ スマート化のメリットだけでなく、デメリットやコスト等にも言及した方が良い。 ・ 導入したスマート化技術の運用にかかわる具体的な情報（どのようにして異常を検知したのか、何を遠隔操作したのか、カメラを何に用いたのか等）を記載した方が良い。	

表 6-3 第 3 回検討会の実施概要

日 時：2022 年 2 月 21 日（月）15：00～17：00 場 所：Web 会議	
議事次第	1. 開会 2. 前回議事録の確認 3. 他分野ガイドライン調査結果の概要 4. 実証事業ヒアリング結果の概要 5. スマート化技術導入ガイドラインの概要
配付資料	資料 3-1 議事次第 資料 3-2 委員名簿 資料 3-3 第二回検討会議事録 資料 3-4 他分野ガイドライン調査結果の概要 資料 3-5 実証事業ヒアリング結果の概要 資料 3-6 スマート化技術導入ガイドラインの概要 参考資料 3-1 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導入ガイドライン 第一版（ドラフト版）
主な議論・意見	・ 数年後にはスマート保安を取り巻く状況は変わると考えられ、今回作成したガイドラインをベースに今後も情報が追加されると事業者にとって参考になると思われる。 ・ ガイドラインの内容は今後も継続して議論し、アップデートを検討した方が良い。

7. 公営水力等のスマート化技術導入における保安規程の検討

特に多くの水力発電設備を抱える公営等の中小水力発電事業者の中には、巡視点検が大きな負担となっているケースがあり、スマート保安の導入が進む中、巡視点検頻度の見直しや点検作業の効率化を進めたいといったニーズがある。このような背景を踏まえ、今後、中小水力発電事業者が保安管理業務におけるスマート化技術を導入し、巡視点検頻度の見直しを検討する際に参考となるよう、事業者へのヒアリング調査結果を基に頻度見直し事例や課題等の整理を実施した。

実証事業の調査や先行事例の調査を通じて、水力発電事業者におけるスマート保安の取組とその効果を踏まえた巡視点検頻度等の見直しについて調査した。結果として、今回調査した中では、北海道電力において「保守支援装置」（遠隔モニタリング）の導入に伴い、巡視、点検、オーバーホールの頻度の検討につながっていることが明らかとなった（3.1.2 参照、以下再掲）。

- 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。

一方、実証事業の調査等を通じて、スマート保安導入に伴う巡視点検頻度等の見直しについて、公営等の中小水力発電事業者の頻度見直しに関する考え方や課題認識が明らかとなった。以下にポイントを示す。

- 頻度見直しに対する現状認識
 - 遠隔監視が可能となれば、現場に行ってメーターの数値を確認することについては代替可能と考えられる。このため、巡視・点検頻度やチェック項目を削減することの妥当性についても、遠隔監視で得られるトレンドグラフを活用すること等によって説明可能と考えられる。
 - スマート保安の導入によって頻度を変えるのではなく、巡視点検の質を変えるという考え方もある。例えば、月2回の巡視・点検の内、1回は目視点検だけにする等、他の作業にリソースを割くことができれば保安の品質向上につながる。
- 課題等
 - 巡視点検の代替としてシステム上の数値やトレンドグラフを確認することについて、主任技術者がチェックしたことのエビデンスを準備することが課題となる。従来通りの立ち入り検査が行われる場合には、スマート保安導入に併せた運用への変更も検討する必要がある。
 - 保安規程を見直す場合には、スマート保安のために導入した機器が故障した場合

についても想定しておく必要がある。

- スマート保安の導入によって巡視点検頻度の低減が可能となることが、国が定めるガイドライン等の中で明記されれば、内外への説明や協議をスムーズに行うことができる。

8. まとめ

本事業では、令和2年度スマート保安技術実証事業費補助金（産業保安高度化推進事業）での実証事業内容の調査、水力発電設備保安管理業務のスマート化先行事例の調査、水力発電以外のスマート化に関するガイドライン等の事例調査、有識者による検討会運営を実施した。これらの成果を踏まえ、今後、水力発電事業者がICT等を活用したスマート保安を導入・運用する際に参考となる「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」を策定した。また、今後のスマート保安導入に伴う保安規程見直し検討に向け、事業者の認識や見直し事例等を調査した。

実証事業調査では、昨年度スマート化技術導入の実証事業に取り組んだ4事業者5事業を対象として、導入後の状況（課題や効果の検証等）について調査した。また、今年度スマート化技術導入の実証事業に取り組んだ3事業者3事業については、導入時（計画段階）の課題や工夫等を調査した。これらの実証事業における取組内容は、事例集としてスマート化技術導入ガイドラインにも反映した。

水力発電設備の保安管理業務のスマート化先行事例の調査では、関西電力及び北海道電力における取組について調査し、実証事業では得られない先進的な技術とその効果に関する情報や遠隔監視による定量的な効果の情報を得ることができた。これらの調査結果は、スマート化技術導入ガイドラインの中でも先行事例として追記した。また、海外におけるより先進的な研究開発・イノベーションの取組についても調査し、水力発電所の運転・保守のスマート化に関する最新技術動向を把握した。

水力発電以外のスマート化に関するガイドライン等の事例調査では、電気保安（水力発電以外）やガス分野、上下水道分野における取組を調査した。特に、水力発電事業と共通的な課題背景を有している上下水道分野については、「遠隔監視システム（センサー、カメラ、クラウド利用）」、「点検データ・台帳類のデジタル化」、「劣化診断予測」といったスマート化に取り組まれており、期待される効果（保守作業に係る時間・負荷の軽減（効率化・省力化）、施設の運用・維持に係る費用の削減、保守等の品質の向上・ばらつき低減等）やその評価指標（時間・費用）についても水力発電と類似していることが分かった。

以上の調査結果や検討会での議論を踏まえ、「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」を作成した。今年度は、昨年度に作成された導入フェーズに対して、運用フェーズの内容を追記した。具体的には、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」に対してスマート化技術導入効果の算定指標・方法、スマート化技術の継続的な維持・管理やスマート化技術の浸透・人材育成に関する留意事項、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」に対して実証事業での取組事例、第6章「スマート保安技術の先行事例」に対して関西電力及び北海道電力の取組事例を追記した。なお、検討会では、最新の技術動向等を踏まえたガイドラインのアップデートの必要性についてもご意見を頂いた。

最後に、今後のスマート保安導入に伴う保安規程見直し検討に向けた事業者の認識や見直し事例や事業者の課題認識等についても調査した。先行事例として調査した北海道電力においては、保守支援装置による遠隔監視効果を踏まえ、頻度見直しの検討が行われた実績があることが明らかとなった。

令和3年度新エネルギー等の保安規制高度化事業（水力発電
設備における保安高度化推進事業）報告書

2022年3月

エム・アール・アイ リサーチアソシエーツ株式会社
数理システム事業部