

作業用ロボット（弁開閉用）操作マニュアル

Work Robot (for Valves Opening/Closing) Operation Manual

千葉 悠介 西山 裕 椿 裕彦 岩井 正樹
大野 隼人 早坂 寿郎

Yusuke CHIBA, Yutaka NISHIYAMA, Hirohiko TSUBAKI, Masaki IWAI
Hayato OHNO and Toshiro HAYASAKA

福島研究開発部門

福島研究開発拠点

櫛葉遠隔技術開発センター

Naraha Center for Remote Control Technology Development

Fukushima Research Institute

Sector of Fukushima Research and Development

February 2021

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<https://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

作業用ロボット（弁開閉用）操作マニュアル

日本原子力研究開発機構

福島研究開発部門 福島研究開発拠点

楡葉遠隔技術開発センター

千葉 悠介、西山 裕、椿 裕彦、岩井 正樹⁺、大野 隼人^{*}、早坂 寿郎^{*}

(2020 年 10 月 26 日受理)

平成 23 年に東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故が発生し、翌年原子力災害特別措置法及び平成 23 年文部科学省・経済産業省令第 4 号「原子力災害特別措置法に基づき原子力事業者が作成すべき原子力事業者防災業務計画等に関する命令」（以下「計画等命令」という。）が改正され、各発電事業者はその対応を行った。さらに平成 29 年に当該計画等命令が研究開発段階発電炉、10MW 以上の試験研究炉及び再処理施設にも適用されることとなり日本原子力研究開発機構（以下「機構」という。）も対応を行った。楡葉遠隔技術開発センター（Naraha Center for Remote Control Technology Development）遠隔機材整備運用課（以下「運用課」という。）は、当該計画等命令に対応し、令和 2 年度から本格運用となった機構内の原子力緊急事態支援組織の中核を担っている。

運用課の重要な任務に、遠隔機材である作業用ロボット及び偵察用ロボットの整備運用がある。このうち作業用ロボットは、扉開閉用と弁開閉用の 2 種類があり、偵察用ロボットは建屋内の放射線量の測定を行うことを目的としたロボットである。

本報告書は、このロボットのうち作業用ロボット（弁開閉用）の操作を行うためのマニュアルを定めたものである。

楡葉遠隔技術開発センター：〒979-0513 福島県双葉郡楡葉町大字山田岡字仲丸 1-22

+ 敦賀廃止措置実証部門 新型転換炉原型炉ふげん

* 株式会社アセンド

Work Robot (for Valves Opening/Closing) Operation Manual

Yusuke CHIBA, Yutaka NISHIYAMA, Hirohiko TSUBAKI, Masaki IWAI⁺
Hayato OHNO* and Toshiro HAYASAKA*

Naraha Center for Remote Control Technology Development
Fukushima Research Institute
Sector of Fukushima Research and Development
Japan Atomic Energy Agency
Naraha-machi, Futaba-gun, Fukushima-ken

(Received October 26, 2020)

Maintenance and Operation Section for Remote Control Equipment in Naraha Center for Remote Control Technology Development was the main part of the nuclear emergency response team of JAEA in full-scale operation starts on the 1st of April, 2020.

In this section, we need to develop equipment for a JAEA nuclear emergency. To support full-scale operation, we have created a work robot for opening and closing doors, a work robot for opening and closing valves, and a reconnaissance robot for measuring radiation dose.

This report describes how to operate a work robot (opening and closing valves).

Keywords: Remote Control Technology, Valve Opening / Closing Robot, Emergency Response,
Naraha Remote Control Technology Development Center, JAEA

+ Fugen Decommissioning Engineering Center, Sector of Tsuruga Decommissioning
Demonstration

* Ascend Co.,Ltd.

目次

1. はじめに	1
2. 作業用ロボット（弁開閉用）の操作マニュアル	2
1. 機器の構成	2
2. 機器の準備	5
3. 操作ソフト	7
4. 操作	15
5. 終了操作	19
6. バッテリ交換方法	19
7. バッテリ充電方法	20
8. 手動弁開閉	21
3. まとめ	24
謝辞	24
参考文献	24

Contents

1. Introduction	1
2. Work robot (for valves opening/closing) operation manual	2
1. Equipment configuration	2
2. Equipment preparation	5
3. Operation software	7
4. Operation	15
5. End operation	19
6. Battery replacement method	19
7. Battery charging method	20
8. Manual valve opening / closing	21
3. Summary	24
Acknowledgment	24
References	24

図一覧

Figure 1.2.1	The Robot for Opening and Closing Manual Valves	-----	23
Figure 1.2.2	The PC for Controlling the Robot for Opening and Closing Manual Valves	-----	23

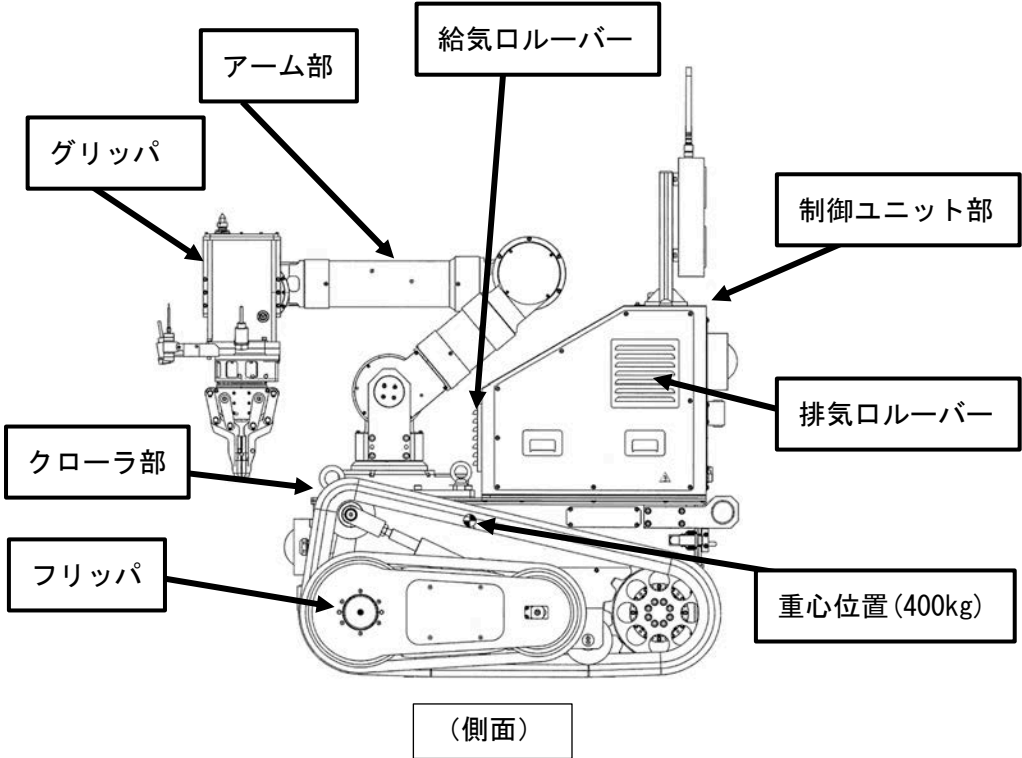
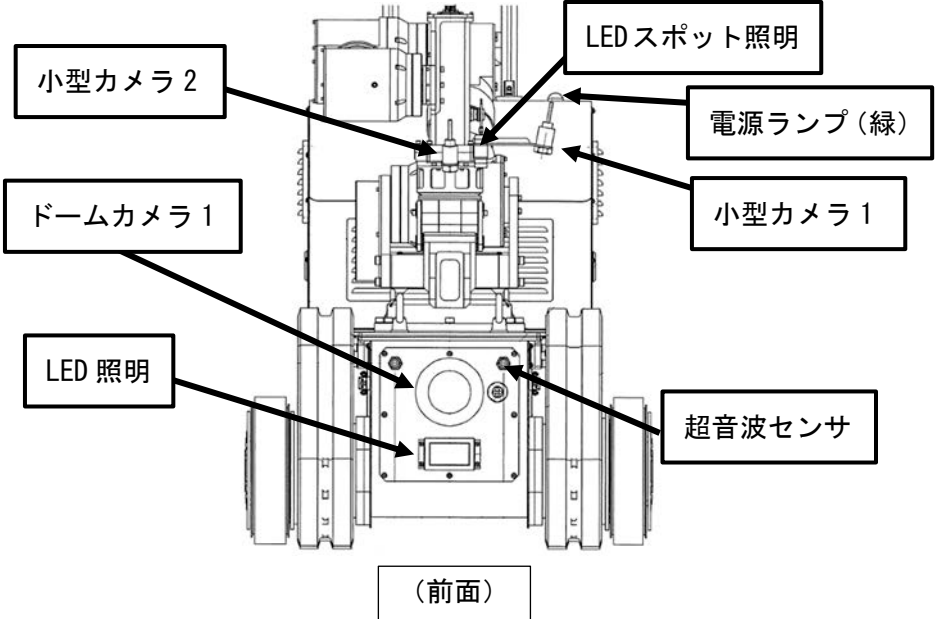
1. はじめに

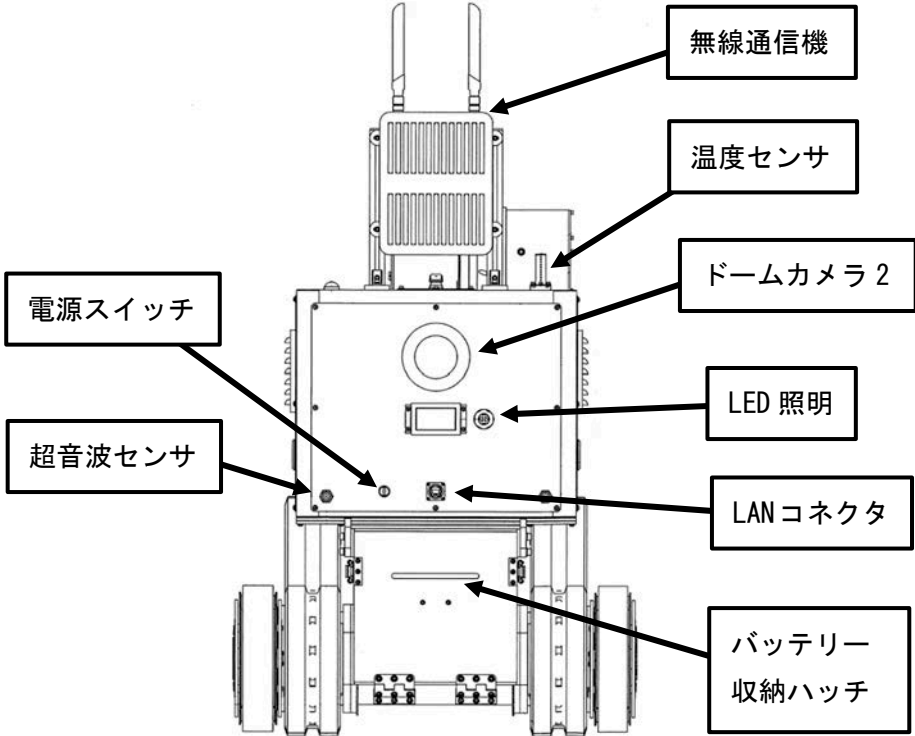
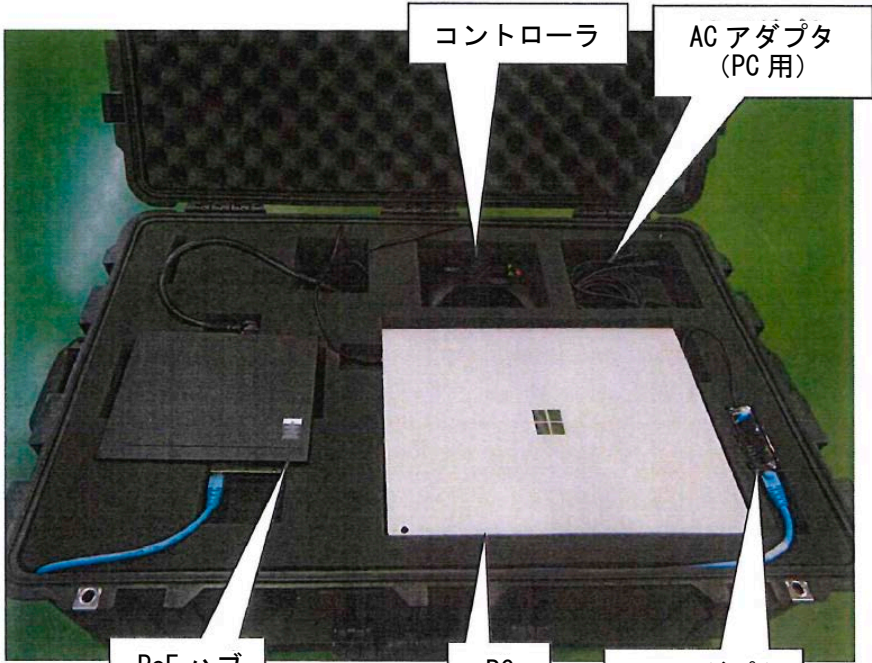
平成 23 年に東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故が発生し、翌年原子力災害特別措置法及び計画等命令が改正され、各発電事業者はその対応を行った。さらに平成 29 年に計画等命令が研究開発段階発電炉、10MW 以上の試験研究炉及び再処理施設にも適用されることとなり機構も対応を行った。櫛葉遠隔技術開発センター(Naraha Center for Remote Control Technology Development)（以下「NARREC」という。）遠隔機材整備運用課（以下「運用課」という。）は、計画等命令に対応するための機構内の原子力緊急事態支援組織の中核を担う課（担当課）である^{[1][2]}。

運用課の重要な業務に遠隔機材である作業用ロボット及び偵察用ロボットの整備運用がある。令和 2 年度からの原子力緊急事態支援組織の本格運用に対応するため、作業用ロボット（扉開閉用及び弁開閉用）及び放射線量を測定するための偵察用ロボットの製作を行った。

本報告書は、このロボットのうち作業用ロボット（弁開閉用）の操作マニュアルについて定めたものである。なお、Figure 1.2.1 に作業用ロボット（弁開閉用）の全体写真を、Figure 1.2.2 に作業用ロボット（弁開閉用）操作用 PC 写真を示す。

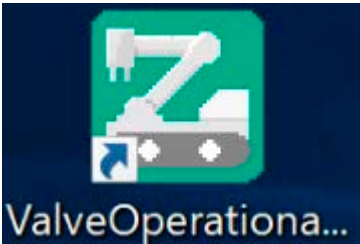
2. 作業用ロボット（弁開閉用）の操作マニュアル

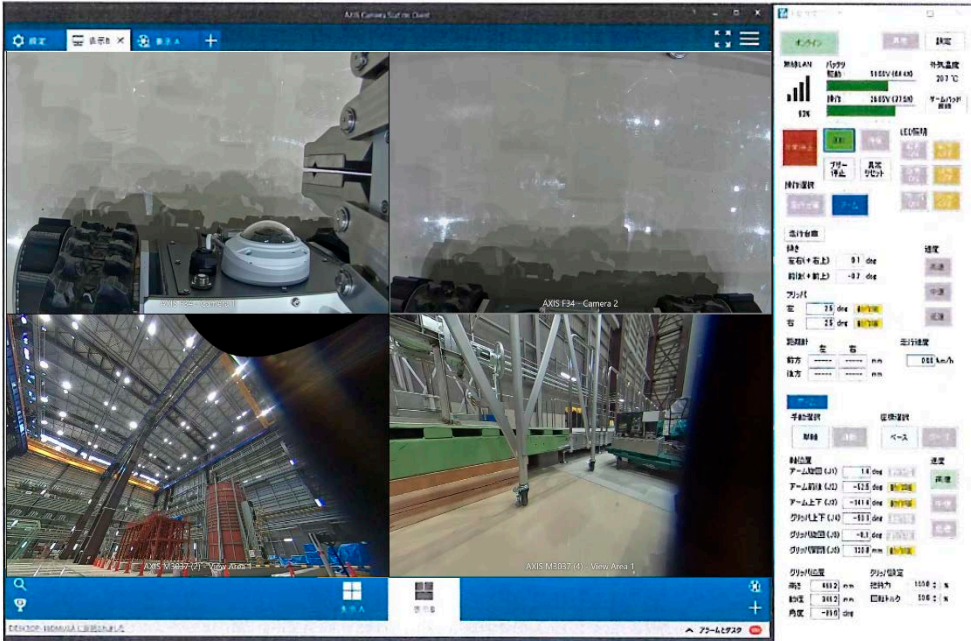
項目	内容
1. 機器の構成	□ 本体  

項目	内容
	 無線通信機 温度センサ ドームカメラ 2 LED 照明 LAN コネクタ バッテリー 収納ハッチ 電源スイッチ 超音波センサ (背面) □ 操作ユニット  コントローラ AC アダプタ (PC 用) PoE ハブ PC LAN アダプタ 操作ユニット (蓋を開けた状態)

項目	内容
	操作ユニット（蓋を開けた状態から一段下） □ バッテリー □ バッテリー充電器

項目	内容
2. 機器の準備 2.1 操作ユニット 2.1.1 無線通信機	無線通信機を設置する。 (1) アンテナと無線通信機を操作ユニットから取り出す。 (2) アンテナを無線通信機に取り付ける。 (3) 無線通信機に取り付けられた金具を操作ケース側面に引っ掛ける。  無線通信機の設置
2.1.2 インバータ	インバータを接続する。 (1) インバータの給電ケーブルをバッテリーに接続する。 (2) バッテリ電圧検知用の USB コネクタを PC に接続する。 (3) インバータの電源スイッチを ON にする。
2.1.3 PoE ハブ	PoE (Power over Ethernet) ハブの電源を接続する。 ■PoE ハブの電源コードをインバータのコンセントに接続する。 ■PC 及び PoE ハブを LAN ケーブルで接続する。 PC 側は USB の有線 LAN アダプタに接続する。 PoE ハブ側はどの LAN ポートに接続しても良い。(ポート番号 1～5)

項目	内容
	■無線通信機と PoE ハブを LAN ケーブルで接続する。 PoE ハブ側は PoE ポート（ポート番号 1～4 のいずれか）に接続する。 PoE ポート（ポート番号 1～4）以外では、無線通信機へ給電することができない。 無線通信機（Buffalo 製 WAPM-1266WDPR）は通信確立（電源ランプ緑点灯）まで 3 分程度時間がかかる。
2.1.4 コントローラ	コントローラを PC へ接続する。 ■コントローラ用 USB ケーブルの micro USB コネクタをコントローラに接続する。 ■コントローラ用 USB ケーブルの USB Type A コネクタを PC に接続する。
2.1.5 PC	PC の電源を投入し、コントロールソフトを起動する。 (1)PC の電源スイッチを ON にする。 PC のログインパスワードを入力する。 (2)カメラビューアソフトとロボット操作ソフトウェア（Valve Operation Robot）が自動的に起動する。 自動的に立ち上がらない場合はデスクトップ画面のショートカットをダブルクリックし、起動する。  カメラビューアソフト ショートカットアイコン  ロボット操作ソフト ショートカットアイコン
2.2 ロボット本体	ロボット本体の電源を投入する。 ■ロボット背面のセレクトスイッチを右側（「入」方向）に倒す。 制御ユニット上部の電源ランプが点灯する。

項目	内容
3. 操作ソフト	 操作ソフトウェア画面（全体） 3.1 カメラビューアソフト 前方および後方に設置されているドームカメラは PTZ カメラのため、パン（左右に移動）、チルト（上下に移動）、ズームイン、ズームアウトする機能がある。 ■パン、チルト カメラ映像をクリックしたままマウスを動かす（ドラッグする）。 ■ズームイン、ズームアウト マウスのホイールでズームイン／ズームアウトできる。 また、「Ctrl」＋「＋」キーでズームイン、「Ctrl」＋「－」キーでズームアウトできる。 3.2 ロボット操作ソフト 3.2.1 共通 ■「オンライン」ボタン ・ロボットとの通信を ON/OFF するボタン ・通信 ON 時…明色に点灯 ・通信 OFF 時…消灯 ・オンラインにしても通信が確立しない場合…点滅 オンライン 「オンライン」ボタン 「オンライン」を押して通信が確立すると、ブザー音が鳴る。 「ブザー停止」ボタンを押し、ブザー音を停止することができる。 （次項を参照すること。）

項目	内容
	■「ブザー停止」ボタン ・異常が発生したときに鳴るブザーを停止するボタン。 ・ブザーが鳴っているとき、ボタンを押すとブザーが停止する。  ブザーが停止しても異常事象は解除されない。 「ブザー停止」ボタン ■「異常」ボタン ・ボタンを押すと異常ウィンドウが表示される。 ・異常ウィンドウで現在発生している異常を確認できる。 ・異常が発生するとボタンが赤色表示される。  「異常」ボタン ■「異常リセット」ボタン ・異常が発生したときに異常を解除するためのボタン。 ・ボタンを押した時点で復旧されている異常が解除される。  「異常リセット」ボタン 異常を取り除かない状態で「異常リセット」ボタンを押しても、異常は解除されず、操作はできない。 ■「非常停止」ボタン ・運転状態の解除及びモータへの電源供給を遮断し、装置を停止させるボタン ・ボタンを押すと「運転」ボタンが消灯（濃灰色）し、操作ができなくなる（非常停止状態）。  「非常停止」ボタン ⚠装置の異常を発見した場合等、すぐに装置を停止させたい場合に押す。 作業終了時、ロボット本体電源を OFF する際、異常動作を防止するためにも非常停止ボタンを使用する。 ■「運転」ボタン ・各軸モータなどの操作機器に電源を供給し、装置を動作させる準備を行うボタン。 ・ボタンを押し、運転状態になるとボタンが点灯（明緑色）する。  「運転」ボタン 装置を操作する場合、このボタンが点灯していることが条件になっている。

項目	内容				
	■「待機」ボタン ・運転状態のまま、各軸モータを待機（サーボオフ）させるボタン。 ・ボタンを押し、待機状態になるとボタンが点灯（黄色）する。 待機状態では、ロボットを操作することはできない。  「待機」ボタン ■「設定」ボタン ・ボタンを押すと設定ウィンドウが表示される。  「設定」ボタン ■「無線 LAN」電界強度表示 ・ロボットの無線 LAN 機器の電界強度が表示される。 ・電界強度は 0~100%の数値で表示され、電界強度に合わせてバーの表示が変化する。 ・数値が大きいほど電波が強いことを示す。  「無線 LAN」電界強度表示 ■「バッテリー残量」表示 ・駆動系及び操作系のバッテリー残量を示す。 ・設定ウィンドウで設定されているアラームレベルより電圧が下がった場合、残量のバー表示は赤色で表示される。 バッテリー <table border="1"> <tr> <td>駆動</td> <td>50.34V (59.6%)</td> </tr> <tr> <td>操作</td> <td>26.14V (69.0%)</td> </tr> </table> 「バッテリー残量」表示 ■「外気温度」表示 ・ロボットの制御ユニット上部に取り付けられている温度センサで計測した外気温度が表示される。 外気温度 18.0 °C 「外気温度」表示 ■「ゲームパッド（コントローラ）接続」表示 ・ゲームパッド（コントローラ）が接続されていない場合…無効表示（グレー） ・ゲームパッド（コントローラ）が接続されている場合…黒色表示 ゲームパッド 接続 「ゲームパッド（コントローラ）接続」表示	駆動	50.34V (59.6%)	操作	26.14V (69.0%)
駆動	50.34V (59.6%)				
操作	26.14V (69.0%)				

項目	内容
	■ 「LED 照明」 ボタン ・ ロボットの前後及びグリッパに設置された LED 照明の点灯／消灯を行うボタン。 ・ LED 照明が点灯するとボタンが点灯（黄色）する。 ・ 前方、後方、グリッパそれぞれ単独で点灯／消灯が可能。 コントローラで点灯／消灯する場合、すべての LED の点灯／消灯となる。 「LED 照明」 ボタン ■ 「操作選択」 ボタン ・ コントローラで操作する対象機器を「走行台車」「アーム」から選択できる。 ・ 「走行台車」 ボタンを押す…走行台車が操作対象となる。 （「走行台車」 ボタン緑点灯、「アーム」 ボタン消灯） ・ 「アーム」 ボタンを押す…アームが操作対象となる。 （「走行台車」 ボタン消灯、「アーム」 ボタン青点灯） 「操作選択」 ボタン ■ 「I/L 解除」、「干渉領域無効」 表示 「インターロック解除状態」、「干渉領域無効状態」にある場合、メイン画面の最下部に表示される。 「インターロック解除」、「干渉領域無効」への切替は設定画面で行うことができる。 I/L解除 干渉領域無効 「I/L 解除」「干渉領域無効」 ボタン ⚠ アームが本体等に接触・衝突して破損するおそれがあるため、通常時はインターロックを解除した状態や干渉領域無効状態では、操作しないこと。

項目	内容
3.2.2 走行台車	■「走行台車」表示  操作ソフトウェア画面（走行台車） ・ 傾き 走行台車の傾きを表示する。（左右、上下） 左右…右側が上になるとき＋側 上下…前が上になるとき＋側 角度が設定画面で設定されたアラームレベルを超えた場合、赤文字で表示される。 ・ フリッパ フリッパの現在位置を表示する。 動作端に達すると動作端ランプが点灯する。 ・ 距離計 走行台車の前後に2つずつ設置されている超音波センサにより検出された距離を表示する。 距離計の検出範囲は 85mm～735mm。 ・ 検出範囲外のときは“-----”と表示される。 ・ 走行速度 モータ速度から算出した走行台車の速度を表示する。 装置の特性上、実際の速度とは誤差がある。目安として利用すること。 ・ 「速度」ボタン 走行台車モードでの動作速度を低速、中速、高速から選択する。 走行台車モードのときのみ選択可能。 低速、中速、高速それぞれの速度の変更は、設定画面で行うことができる。

項目	内容
3.2.3 アーム	■「アーム」表示  操作ソフトウェア画面 (アーム) ・ 手動選択 手動操作方法として「単軸」と「連動」のどちらを使用するか選択する。 「単軸」を選択すると各軸単体での操作となる。 「連動」を選択すると J2 軸、J3 軸、J4 軸を連動してグリップを平行に操作することができる。(ただし、横方向への動作はできない。) ・ 座標選択 連動操作時の基準座標系を選択する。 「ベース」を選択するとアームの据付座標を基準にグリップが動作する。 「グリップ」を選択するとグリップを基準とした座標で動作する。 本設定は、単軸操作には影響がない。 ・ 軸位置 アーム各軸の関節角度を表示する。 (グリップ開閉については、グリップの爪の開き量が表示される。) 動作端に到達すると動作端ランプが点灯する。 ・ 「速度」ボタン アームモードでの動作速度を低速、中速、高速から選択する。 アームモードのときのみ選択可能。 低速、中速、高速それぞれの速度の変更は、設定画面で行うことができる。

項目	内容
	・グリッパ位置 アーム回転軸（J1 軸）の回転軸を Z 軸とした円筒座標系でグリッパの位置を示す。 角度は、グリッパの姿勢を水平に対する角度として表示する。上を向く方向を正として表示する。 ・グリッパ設定 グリッパの把持力とグリッパの回転トルクを制限するパラメータ。 0%としてもサーボアンプの最低トルクでの制限となるため、 把持力、回転トルクを 0 とすることはできない。
3.2.4 設定画面	■速度設定（走行台車／アーム） 低速、中速、高速がそれぞれ選択されたときの指令速度を最高速に対する比率で設定できる。 ■バッテリー設定（駆動用／操作用） ソフトウェア上に表示されるバッテリー残量について 100%表示されるとききの電圧、0%表示されるとききの電圧、アラーム表示が出るとききのバッテリー残量を設定できる。 ■センサ設定（傾斜計） ・アラームレベル 走行台車の傾き表示でアラーム表示（赤文字）とする閾値[°]を設定できる。 ・原点補正值 傾斜計の出力値をここで設定した値でオフセットできる。 ■センサ設定（超音波センサ） ・アラームレベル 走行台車前後にある超音波センサの検出値をアラーム表示（赤文字）とする閾値[mm]を設定できる。 ・原点補正值 超音波センサで検出した距離をここで設定した値でオフセットできる。 設定画面

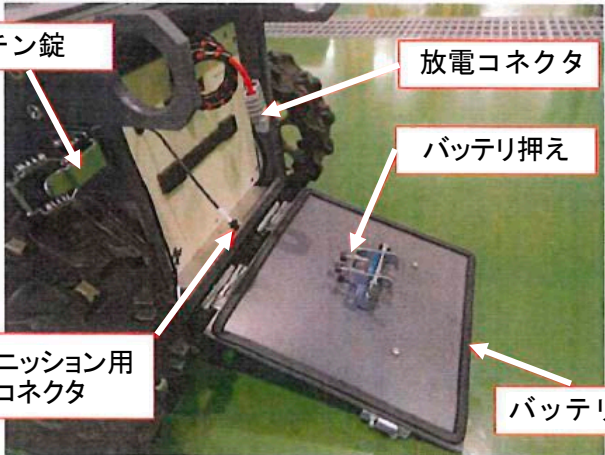
項目	内容																					
	■通信 ・ロボット IP アドレス ロボットに搭載されている制御ユニットの IP アドレスを設定できる。 ・無線 LAN SSID ロボットに搭載されている無線 LAN 機器の SSID を設定できる。 ■「I/L 解除」ボタン ・ボタンを長押しすることで、インターロックを解除することができる。 ・再度ボタンを押すことで、インターロック状態に戻る。 アームが自機器へ干渉するのを防ぐため、以下のインターロックが通常設定されている。 干渉対策（インターロック） <table><tr><th>インターロック条件</th><th>インターロック制限</th></tr><tr><td>アーム上下 −20℃ ～ 0℃</td><td>アーム前後の動作範囲を−20℃ ～ 90℃</td></tr><tr><td>アーム前後 −50℃ ～ −20℃</td><td>アーム上下の動作範囲を−140℃ ～ −50℃</td></tr></table> ⚠ ロボット保全のため、通常時はインターロックを解除した状態で操作しないこと。 ⚠ I/L 解除モード中は動作端以上の動作ができる。 自機器内で干渉して破損するおそれがあるため、十分注意すること。 ■「干渉領域無効」ボタン アームが自機器へ干渉するのを防ぐため、以下の干渉領域が通常設定されている。 干渉領域設定（干渉エリア） <table><tr><th>エリア名称</th><th>エリア場所</th><th>目的</th></tr><tr><td>干渉エリア 1</td><td>右フリッパ周辺</td><td>アームによる右フリッパ破損を防ぐため。</td></tr><tr><td>干渉エリア 2</td><td>左フリッパ周辺</td><td>アームによる左フリッパ破損を防ぐため。</td></tr><tr><td>干渉エリア 3</td><td>前方ドームカメラ周辺</td><td>アームによる前方ドームカメラ破損を防ぐため。</td></tr><tr><td>干渉エリア 4</td><td>無線通信機周辺</td><td>アームによる無線対新規破損を防ぐため。</td></tr></table>	インターロック条件	インターロック制限	アーム上下 −20℃ ～ 0℃	アーム前後の動作範囲を−20℃ ～ 90℃	アーム前後 −50℃ ～ −20℃	アーム上下の動作範囲を−140℃ ～ −50℃	エリア名称	エリア場所	目的	干渉エリア 1	右フリッパ周辺	アームによる右フリッパ破損を防ぐため。	干渉エリア 2	左フリッパ周辺	アームによる左フリッパ破損を防ぐため。	干渉エリア 3	前方ドームカメラ周辺	アームによる前方ドームカメラ破損を防ぐため。	干渉エリア 4	無線通信機周辺	アームによる無線対新規破損を防ぐため。
インターロック条件	インターロック制限																					
アーム上下 −20℃ ～ 0℃	アーム前後の動作範囲を−20℃ ～ 90℃																					
アーム前後 −50℃ ～ −20℃	アーム上下の動作範囲を−140℃ ～ −50℃																					
エリア名称	エリア場所	目的																				
干渉エリア 1	右フリッパ周辺	アームによる右フリッパ破損を防ぐため。																				
干渉エリア 2	左フリッパ周辺	アームによる左フリッパ破損を防ぐため。																				
干渉エリア 3	前方ドームカメラ周辺	アームによる前方ドームカメラ破損を防ぐため。																				
干渉エリア 4	無線通信機周辺	アームによる無線対新規破損を防ぐため。																				

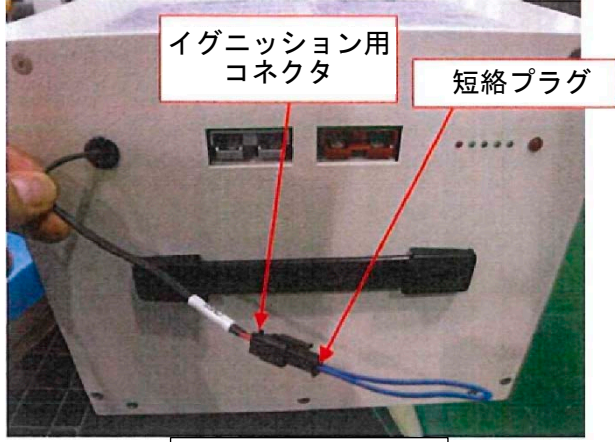
項目	内容
	・「干渉領域無効」ボタンを長押しすることで、この干渉領域を無効化できる。 ・干渉領域無効モードでは、4つある干渉領域に対しての異常検知が無効になり、干渉領域に侵入することができる。 ・再度ボタンを押すことで、干渉領域無効モードが終了する。 ⚠ ロボット保全のため、通常時は干渉領域を無効化した状態で操作しないこと。 ⚠ 干渉領域無効モード中はアームが干渉領域へ侵入することができる。自機器内で干渉して破損するおそれがあるため、十分注意すること。 ■ 「ゲームパッド（コントローラ）設定」ボタン ・ボタンを押すとコントローラのボタン配置を変更することができる。 ■ 「初期化」ボタン ・設定をすべて初期値に戻すためのボタン。 初期値とは、納品時の設定である。設定が全て消えてしまうわけではない。
4. 操作	
4.1 走行台車	 走行台車の操作方法 走行台車の超信地旋回動作は、左スティックのみで操作できる。 走行台車の信地旋回動作は、左スティックと右スティックを同時に操作する。

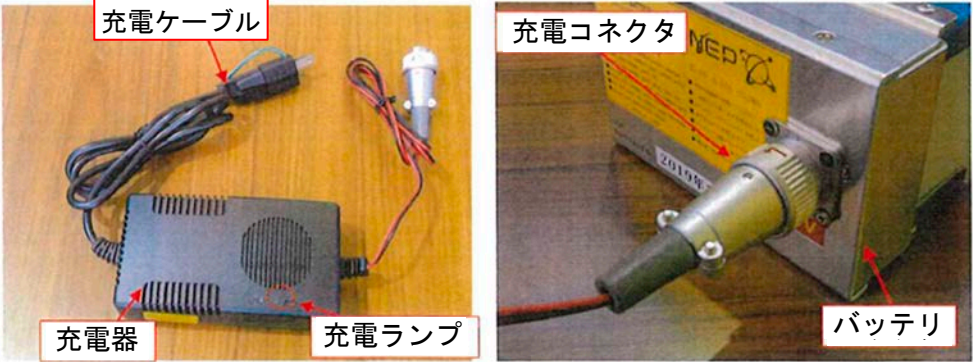
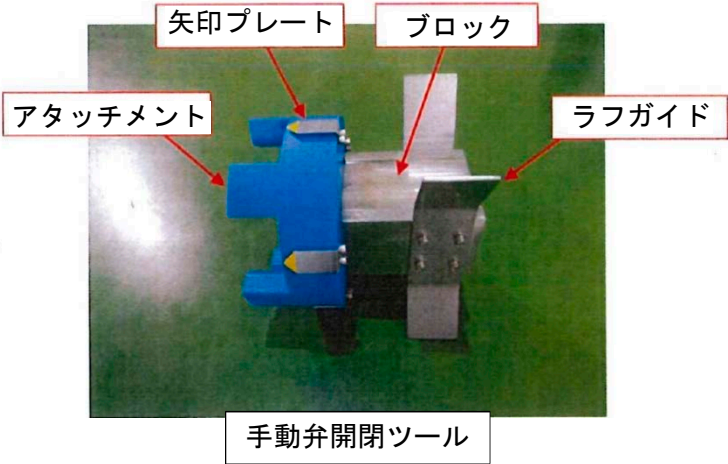
項目	内容														
4.2 アーム (可動範囲)	グリッパ上下 アーム上下 アーム前後 フリッパ回転 アーム及びフリッパ動作範囲 可動範囲 <table border="1"> <thead> <tr> <th>可動部位</th><th>可動範囲</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>アーム旋回</td><td>-110° ~ 110°</td></tr> <tr> <td>アーム前後</td><td>-50° ~ 90°</td></tr> <tr> <td>アーム上下</td><td>-140° ~ 0°</td></tr> <tr> <td>グリッパ上下</td><td>-90° ~ 90°</td></tr> <tr> <td>グリッパ回転</td><td>-180° ~ 180°</td></tr> <tr> <td>フリッパ旋回</td><td>-270° ~ 0°</td></tr> </tbody> </table> 左図のようにアームを上空に垂直に伸ばした状態が基準角度 0° となる。	可動部位	可動範囲	アーム旋回	-110° ~ 110°	アーム前後	-50° ~ 90°	アーム上下	-140° ~ 0°	グリッパ上下	-90° ~ 90°	グリッパ回転	-180° ~ 180°	フリッパ旋回	-270° ~ 0°
可動部位	可動範囲														
アーム旋回	-110° ~ 110°														
アーム前後	-50° ~ 90°														
アーム上下	-140° ~ 0°														
グリッパ上下	-90° ~ 90°														
グリッパ回転	-180° ~ 180°														
フリッパ旋回	-270° ~ 0°														
4.3 アーム (単軸操作)	グリッパ上下 アーム上下 アーム前後 アーム旋回 グリッパ回転 グリッパ開閉 フリッパ アーム(単軸)の動作方向														

項目	内容
4.4 アーム (連動)	The diagram illustrates the button functions for an Xbox controller, categorized into two main sections: 'アーム（単軸）の操作方法' (Single-axis arm operation method) and 'アーム（連動）の操作方法' (Coordinated arm operation method). アーム（単軸）の操作方法 (Single-axis arm operation method): Top Buttons: - LT(下)グリップパ回転 J5(左回転)(-) - LB(上)グリップパ開閉 J6(開) - RB(上)グリップパ開閉 J6(閉) - RT(下)グリップパ回転 J5(右回転)(+) Left Side: - 非常停止 ON/OFF - グリップパ上下 J4(上) ↔ グリップパ上下 J4(下) - アーム上下 (上) (+) ↔ アーム上下 (下) (-) Center: - 操作選択 - LED 照明 ON/OFF - 座標選択 ベース/グリップパ - 手動選択 単軸/連動 - 運転 ON Right Side: - アーム前後 (+) (前) ↔ アーム前後 (-) (後) - アーム旋回 J1(左旋回) ↔ アーム旋回 J1(右旋回) アーム（連動）の操作方法 (Coordinated arm operation method): Top Buttons: - LT(下)グリップパ回転 J5(左回転)(-) - LB(上)グリップパ開閉 J6(開)(+) - RB(上)グリップパ開閉 J6(閉)(-) - RT(下)グリップパ回転 J5(右回転)(+) Left Side: - 非常停止 ON/OFF - グリップパ上下 J4(上) (+) ↔ グリップパ上下 J4(下) (-) - アーム上下 (上) (+) J3(上) ↔ アーム上下 (下) (-) J3(下) Center: - 操作選択 - LED 照明 ON/OFF - 座標選択 ベース/グリップパ - 手動選択 単軸/連動 - 運転 ON Right Side: - アーム前後 (+) J2(前) ↔ アーム前後 (-) J2(後) - アーム旋回 J1(左旋回) (+) ↔ アーム旋回 J1(右旋回) (-)

項目	内容
	アーム（連動-ベース座標系）の動作方向 アーム（連動-グリッパ座標系）の動作方向

項目	内容
5. 終了操作	(1) 「非常停止」 ボタンを押し、ロボットの動力を遮断する。 (2) 「オンライン」 ボタンを押し、ロボットとの通信を切る。 「オンライン」 が消灯することを確認すること。 (3) ロボット後部のセレクトスイッチを左側に倒し、電源 OFF にする。 制御ユニット上部の電源ランプが消灯することを確認すること。 (4) PC で起動しているカメラビューアソフトとロボット操作ソフトウェア (Valve Operation Robot) のウィンドウを閉じる。 (5) PC をシャットダウンする。 (6) 操作ユニットのインバータのスイッチを切る。 (7) 操作ユニットのバッテリーから給電ケーブルのコネクタを取り外す。
6. バッテリー交換方法	(1) ロボット本体の電源を OFF にする。 (2) パチン錠をロック解除し、バッテリー収納ハッチを開く。 ⚠ 収納ハッチ（蓋）は約 5kg あり、かつ構造上手指を挟みやすい。 取っ手を押さえて蓋を開閉させる等、手指の位置に注意して開閉すること。 (3) 放電コネクタおよびイグニッション用コネクタを取り外す。 (4) バッテリー押えを倒す。 (5) ケーブル類を巻き込まないようにバッテリーをゆっくり引き出す。 (6) バッテリーを交換する。  (7) ケーブル類を巻き込まないようにバッテリーをゆっくり押し込む。 (8) バッテリー押えを直立させる。 (9) 放電コネクタおよびイグニッション用コネクタを接続する。 (10) バッテリー収納ハッチを閉じて、パチン錠をロックする。

項目	内容
7. バッテリ充電方法	 電源ケーブル 充電器 充電ケーブル バッテリー充電器
7.1 制御バッテリー	
7.1.1 直接充電	(1) ロボット本体の電源を OFF にする。 (2) パチン錠をロック解除し、バッテリー収納ハッチを開く。 (3) 充電器の電源ケーブルを AC100V のコンセントに差し込む。 (4) 充電器の充電ケーブルをバッテリーの充電コネクタ（赤色）に差し込む。 (5) ロボット本体の電源を ON にする。 (6) 充電器の電源スイッチを ON にする。 (7) 充電器のスタートスイッチを押すと充電表示 LED（緑）が点滅し、充電を開始する。 (8) 満充電になると充電が自動的に終了し、充電表示 LED（緑）が点灯する。 (9) 途中で充電を停止したいときは、停止スイッチを押す。
7.1.2 単体での充電	(1) イグニッション用コネクタに短絡プラグを差し込む。  イグニッション用コネクタ 短絡プラグ 短絡プラグの差込

項目	内容
7.2 操作ユニット用バッテリー	(2) 充電器の電源ケーブルを AC100V のコンセントに差し込む。 (3) 充電器の充電ケーブルをバッテリーの充電コネクタに差し込む。 (4) 充電器の電源スイッチを ON にする。 (5) 充電器のスタートスイッチを押すと充電表示 LED（緑）が点滅し、充電を開始する。 (6) 満充電になると充電が自動的に終了し、充電表示 LED（緑）が点灯する。 (7) 途中で充電を停止したいときは、停止スイッチを押す。 (1) 電源コードを接続する。 充電コネクタを先にバッテリーに接続すると充電できない。 (2) バッテリーを充電器のコネクタに接続すると、充電ランプ（赤）が点灯する。 (3) 緑ランプが点灯したら充電完了。  充電ケーブル 充電器 充電ランプ 充電コネクタ バッテリー 操作ユニット用バッテリー充電器
8. 手動弁開閉	J-9 には 4 インチの手動弁を開閉させるための手動弁開閉ツールがある。このツールの使用方法について記載する。  矢印プレート ブロック アタッチメント ラフガイド 手動弁開閉ツール

項目	内容
	(1) 手動弁開閉ツールのアタッチメントを下側に向けた状態で地面に置く。 (2) アームを操作し、グリッパでツールのブロック部分を把持する。 (3) ツールを把持した状態でバルブにアタッチメントを差し込む。 手動弁開閉ツールの矢印プレートは目印となっている。矢印プレートをバルブのスポーク部分に合わせる。 バルブを開けると、バルブの弁棒が突出してくる。手動弁開閉ツールの中央には、この弁棒が収納できる穴が開いている。 手動弁開閉ツール使用イメージ (4) グリッパを回転させる。(開方向…左回転、閉方向…右回転) グリッパの回転トルクは調整可能である。(最大 240N) (回転トルク調整方法については「3.1.3 アーム」項を参照すること。) 新品の弁であれば 10%程度の出力でも開閉可能。ロボット保全のため、バルブに応じて 10%程度から段階的に出力を強める調整をする。 (5) グリッパが限界まで回転したら、台車を後退させる。 (6) グリッパを限界まで逆回転させる。 (7) 以後、(3)～(6)を繰り返す。 グリッパ回転の動作範囲が「-180° ～ 180°」となっているため、逆回転で元に戻す必要がある。

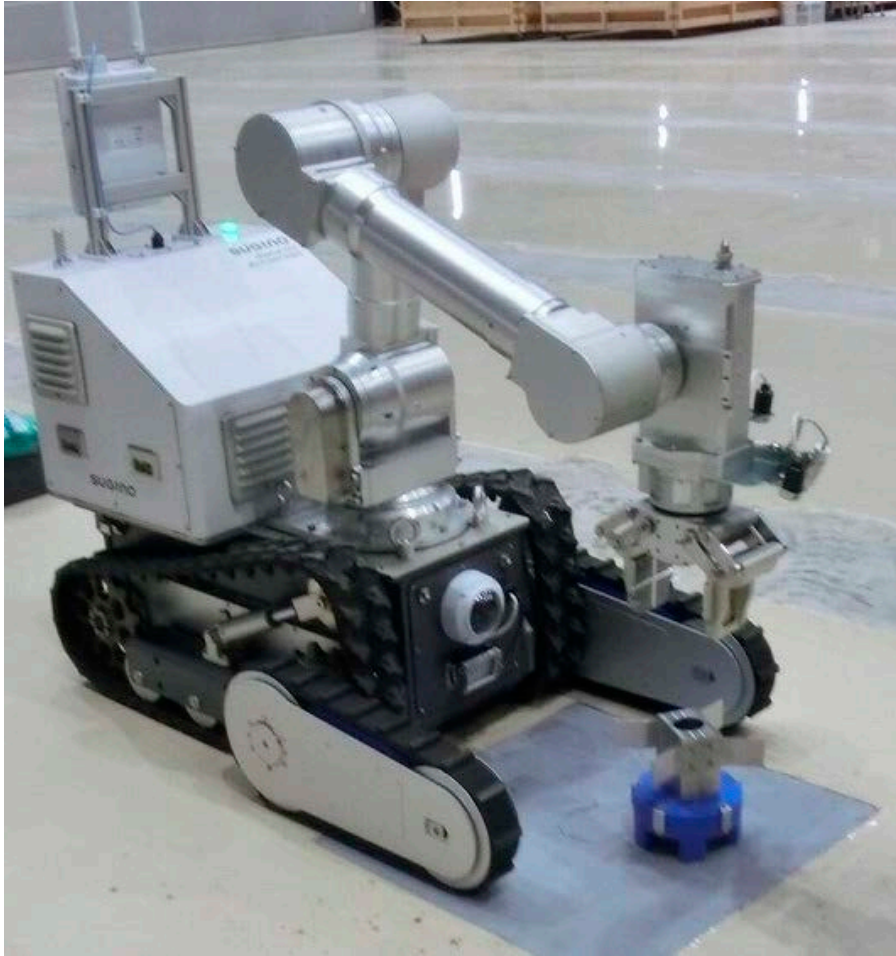


Figure 1.2.1 The Robot for Opening and Closing Manual Valves



Figure 1.2.2 The PC for Controlling the Robot for Opening and Closing Manual Valves

3. まとめ

令和元年度に作業用ロボットのうち手動弁開閉用ロボットの設計及び製作を行った。

手動弁開閉用ロボットは、口径 4B (100A) の手動弁を開閉できる。

今後、機構内の原子力緊急事態発生時に対応できるよう、ここで報告したロボットを用いて、課内の日常訓練及び各拠点操作要員に対する訓練を実施する予定である。

謝辞

作業用ロボット（手動弁開閉）の操作マニュアルを作成するにあたり、当該ロボットの各種情報の提供をしていただいた本ロボットの製作メーカーである株式会社スギノマシン様のご協力に感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] 櫛葉遠隔技術開発センター, 2017 年度 櫛葉遠隔技術開発センター年報, JAEA-Review 2018-029, pp.31-38.
- [2] 千葉悠介, 西山裕, 椿裕彦, 岩井正樹, 緊急時対応遠隔機材の機構内各拠点操作員育成プログラム 初級編・中級編, JAEA-Technology 2019-002, p.1.

国際単位系（SI）

表 1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質량	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。

(b) これらは無次元量あるいは次元 1 をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の 1 は通常は表記しない。

表 3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光束度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照射度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。

(b) ラジアンとステラジアンは数字の 1 に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の 1 は明示されない。

(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d) ヘルツは周期現象についてののみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてののみ使用される。

(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。

(g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表 4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘着力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎立方メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電表面電位	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表 5. SI 接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表 6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	′	1′=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	″	1″=(1/60)′=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表 7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表 8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg≈133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デシベル	dB	

表 9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオット	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe ≈ (10 ³ /4 π) A m ⁻¹

(a) 3 元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「Δ」は対応関係を示すものである。

表 10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g = 2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15℃」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
ミクロン	μ	1 μ =1 μm=10 ⁻⁶ m

