



JAEA-Technology

2019-002

DOI:10.11484/jaea-technology-2019-002

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

Training Programs of Emergency Response Robots Operation for Operators
in Each Site of JAEA
Beginner Class / Intermediate Class

千葉 悠介 西山 裕 椿 裕彦 岩井 正樹

Yusuke CHIBA, Yutaka NISHIYAMA, Hirohiko TSUBAKI and Masaki IWAI

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

Naraha Center for Remote Control Technology Development

Fukushima Research Institute

Sector of Fukushima Research and Development

March 2019

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2019

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

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
檜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

(2019年2月1日受理)

原子力災害対策特別措置法の計画等命令が、2017年10月30日に改正された。この改正への対応のため、檜葉遠隔技術開発センター遠隔機材整備運用課は、日本原子力研究開発機構内原子力緊急事態支援組織として、対象となる機構各施設から選出された要員に対して緊急時対応用遠隔操作資機材の操作訓練を開始した。

当該訓練は、偵察用ロボット（クローラベルト使用の走行ロボット・小型）、作業用ロボット（クローラベルト使用の走行ロボット・大型、作業機構（腕状又は長尺トング）付）及び小型無線ヘリの3種の機材の操作訓練を一式とし、受講する要員の訓練経験及び熟練度に応じて初級、中級及び上級の3段階に分けて実施することとした。

本報告は、2018年度上期に実施した初級及び中級の訓練のため策定した要員育成プログラムについて述べたものである。

JAEA- Technology 2019-002

Training Programs of Emergency Response Robots Operation for Operators
in Each Site of JAEA
Beginner Class / Intermediate Class

Yusuke CHIBA, Yutaka NISHIYAMA, Hirohiko TSUBAKI and Masaki IWAI

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 February 1, 2019)

Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness was amended on the 30th of October in 2017. As the Japan Atomic Energy Agency (JAEA) Emergency Assistance Organization, Maintenance and Operation Section for Remote Control Equipment in Naraha Center for Remote Control Technology Development started training for emergency response robots operation for operators in each site of JAEA in response to the new amendment.

The training consists of three operations: small crawler-type mobile scouting robots, big crawler-type mobile robots with a manipulator or a long tong and small radio-controlled helicopters. The training has three classes (beginner, intermediate and advanced classes) depending on skills and experiences.

This paper reports the training programs of emergency response robots operation of the beginner and intermediate classes which were used in the first half of fiscal 2018.

Keywords: Training Program, Emergency Response Robots Operation, Crawler-type Mobile Robot, Radio-controlled Helicopter

目 次

1	はじめに.....	1
2	訓練施設（檜葉センター試験棟）.....	2
3	訓練使用機材.....	4
3.1	偵察用ロボット.....	4
3.1.1	偵察用ロボットの使用目的.....	5
3.1.2	偵察用ロボットの特徴.....	5
3.1.3	偵察用ロボットの基本構成及び主な仕様.....	5
3.2	作業用ロボット.....	7
3.2.1	作業用ロボットの使用目的.....	7
3.2.2	作業用ロボットの基本構成及び主な仕様.....	7
3.3	小型無人ヘリ.....	9
3.3.1	小型無人ヘリの使用目的.....	11
3.3.2	小型無人ヘリの基本構成及び主な仕様.....	11
4	初級編（操作要員育成プログラム）.....	12
4.1	偵察用ロボット操作.....	12
4.1.1	操作訓練.....	12
4.1.2	放射線測定訓練.....	13
4.2	作業用ロボット操作.....	14
4.2.1	台車部操作.....	14
4.2.2	作業ロボット（作業機構部）操作.....	14
4.3	小型無人ヘリ操作.....	16
4.3.1	事故対応用実機の設定停止操作.....	16
4.3.2	有線給電機飛行操作.....	16
4.4	初級判定表.....	16
5	中級編（操作要員育成プログラム）.....	22
5.1	偵察用ロボット操作.....	22
5.1.1	操作訓練.....	22
5.1.2	放射線測定訓練.....	23
5.2	作業用ロボット操作.....	23
5.2.1	台車部操作.....	23
5.2.2	作業ロボット（作業機構部）操作.....	24
5.3	小型無人ヘリ操作.....	25
5.3.1	事故対応用実機の設定停止及び飛行操作.....	25
5.4	中級判定表.....	25

6 まとめ	29
参考文献	29
謝 辞	29

Contents

1	Introduction.....	1
2	Training Facility.....	2
3	Equipment for Training.....	4
	3.1 Scouting Robots.....	4
	3.1.1 Purpose of Using.....	5
	3.1.2 Features.....	5
	3.1.3 Basic Configuration and Main Specifications.....	5
	3.2 Working Robots.....	7
	3.2.1 Purpose of Using.....	7
	3.2.2 Basic Configuration and Main Specifications.....	7
	3.3 Small Radio-Controlled Helicopters.....	9
	3.3.1 Purpose of Using.....	11
	3.3.2 Basic Configuration and Main Specifications.....	11
4	Beginner Class.....	12
	4.1 Operation of Scouting Robots.....	12
	4.1.1 Operational Training.....	12
	4.1.2 Radiation Measurement Training.....	13
	4.2 Operation of Working Robots.....	14
	4.2.1 Truck Operation.....	14
	4.2.2 Working Robots Operation.....	14
	4.3 Operation of Small Radio-controlled Helicopters.....	16
	4.3.1 Operation of Setting and Stopping.....	16
	4.3.2 Operation of Wired Power Supply Helicopters.....	16
	4.4 Judgment Tables for Beginners Class.....	16
5	Intermediate Class.....	22
	5.1 Operation of Scouting Robots.....	22
	5.1.1 Operation of Training.....	22
	5.1.2 Radiation Measurement Training.....	23
	5.2 Operation of Working Robots with a Manipulator or a Long Tong.....	23
	5.2.1 Truck Operation(Truck Section).....	23
	5.2.2 Working Robots Operation.....	24
	5.3 Operation of Small Radio-controlled Helicopters.....	25
	5.3.1 Operation of Flying and Stopping.....	25
	5.4 Judgment Tables for Intermediate Class.....	25

6 Summary.....	29
References.....	29
Acknowledgements.....	29

1 はじめに

原子力災害対策特別措置法及び同法「計画等命令」第2条第2項第7号が改正され、2017年10月30日に施行された。この改正への対応のため、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「機構」という）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（以下、「櫛葉センター」という）遠隔機材整備運用課は、機構内原子力緊急事態支援組織として、対象となる機構各施設から選出された要員に対して、緊急時対応用遠隔操作資機材の操作訓練（以下、「操作訓練」という）を同年度より開始した。

対象となる機構各施設とは、原子力科学研究所研究用原子炉 JRR-3、核燃料サイクル工学研究所東海再処理施設、大洗研究所材料試験炉 JMTR、同高温工学試験炉 HTTR、同高速実験炉常陽、高速増殖原型炉もんじゅ、新型転換炉原型炉ふげんである。

操作訓練は、偵察用ロボット（クローラベルト使用の走行ロボット・小型）、作業用ロボット（クローラベルト使用の走行ロボット・中型、作業機構（腕状又は長尺トング）付）及び小型無人ヘリの3種の機材の操作訓練を一式とし、受講する要員の訓練経験及び熟練度に応じて、初級、中級及び上級の3段階に分けて実施することとした。

本書は、2018年度上期に実施した初級及び中級の操作訓練のために作成した要員育成プログラムについて、報告するものである。

2 訓練施設（檜葉センター試験棟）

操作訓練は、檜葉センターの試験棟（1階建：80 m（幅：W）×60 m（奥行き：D）×40 m（高さ：H）¹⁾内で行う。

図 2-1 に檜葉センターの全景¹⁾を示す。図 2-1 の左方建屋が試験棟である。



図 2-1 檜葉センターの全景

試験棟には、要素試験エリアと実規模試験エリアがある。要素試験エリアには遠隔操作機器・装置等の性能評価を行う設備が整備されている。一方、実規模試験エリアには国際廃炉研究開発機構により整備された実規模試験体が設置されている。

偵察用ロボット及び作業用ロボットの操作訓練は、試験棟内要素試験エリアの常設設備がない区域を利用して行い、小型無人ヘリの操作訓練は、試験棟内要素試験エリアのモーションキャプチャエリアにて行う。

図 2-2 に試験棟 1 階平面図¹⁾を示す。

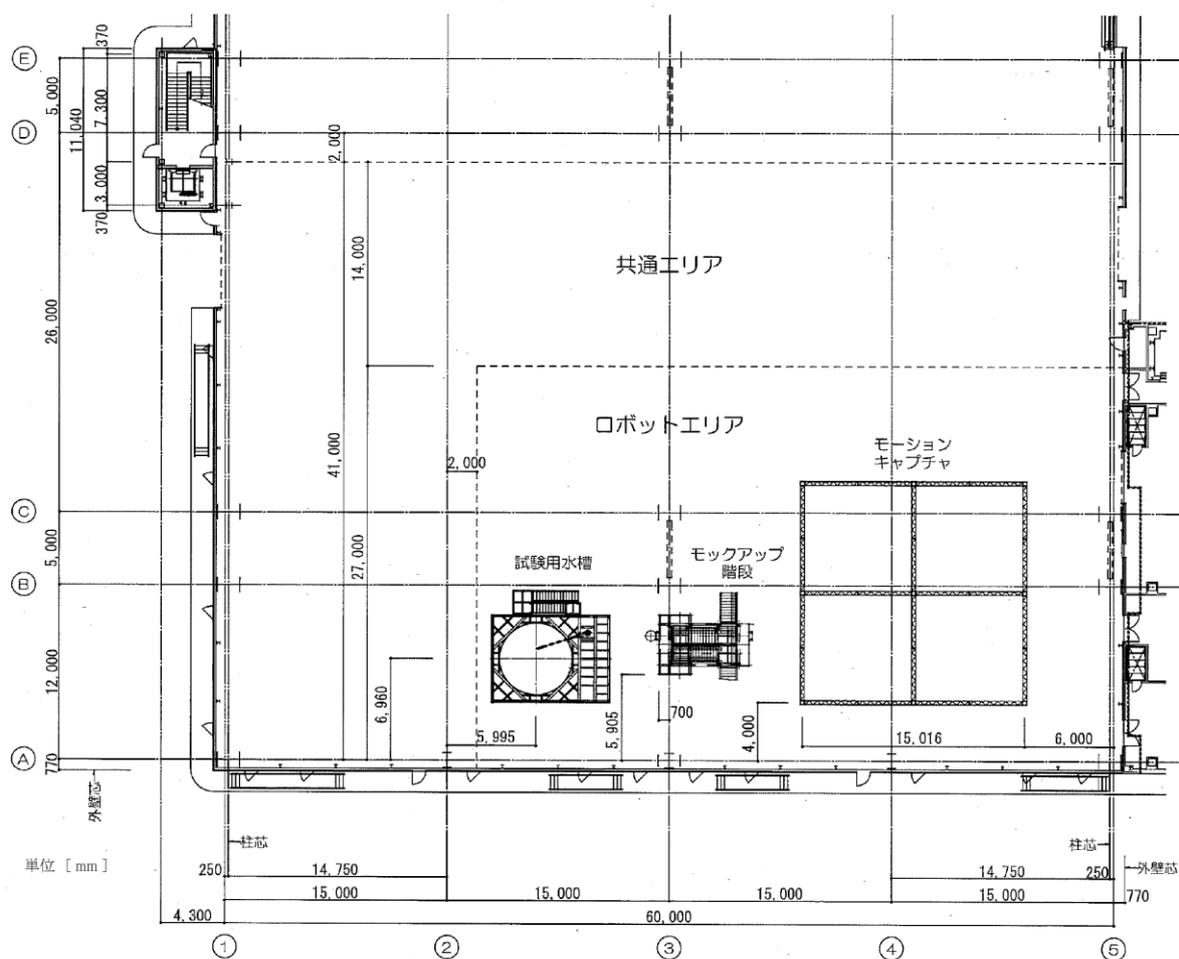


図 2-2 試験棟 1 階平面図

3 訓練使用機材

3.1 偵察用ロボット

訓練に使用する偵察用ロボットは、J-4、J-5 及び J-11 の 3 台である。

図 3-1 に、J-4、J-5 及び J-11 の外観写真を示す。

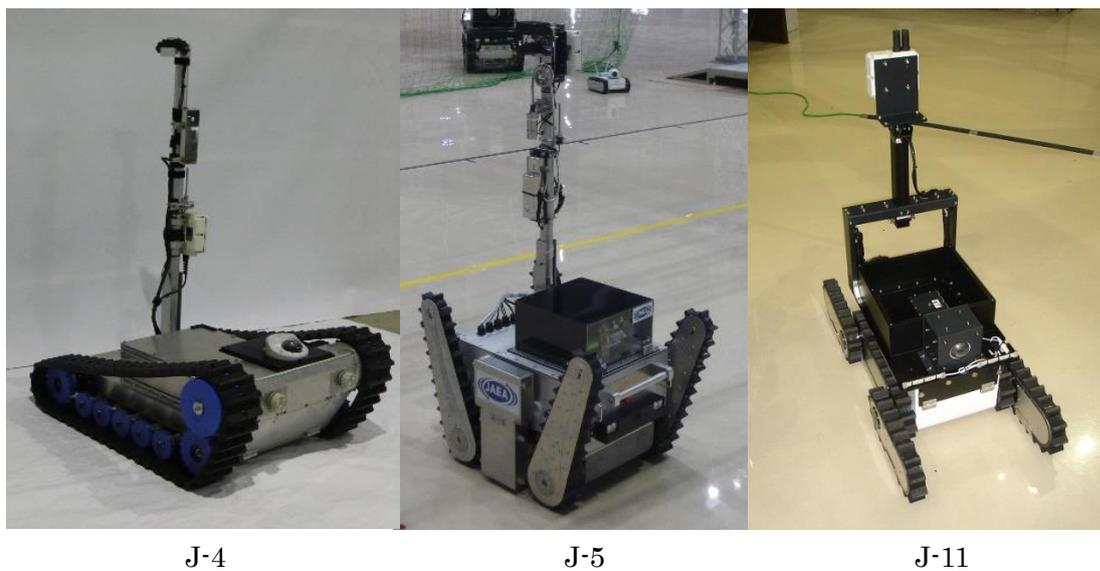


図 3-1 J-4、J-5、J-11 の外観写真

3.1.1 偵察用ロボットの使用目的

偵察用ロボットの使用目的は、事故発生時に有人作業に先立って、作業環境の状況確認及び空間線量率等の測定により、作業の安全及び放射線安全の確認を行うことである。

3.1.2 偵察用ロボットの特徴

偵察用ロボットの特徴は、以下のとおりである。

- ① 事故直後に現場へ進入する運用を想定しているため、踏破性に優れたクローラを走行機構に用いている。
- ② 連続運転可能時間は、機種及び負荷状況に依存するが、0.5時間程度（J-5）から2時間程度（J-11）である。
- ③ 走行時の障害物との干渉を避けあるいは乗り越える必要より、操作者が偵察用ロボット自身により撮影した擬似俯瞰映像を参考に、当該ロボットを操作できる機能を有している。

3.1.3 偵察用ロボットの基本構成及び主な仕様

- ① 基本構成は、以下のとおりである。

○本体

○操作ボックス（PC、コントローラ、バッテリー、アンテナ等収納）

- ② 主な仕様

表 3.1.3 に各偵察用ロボットの主な仕様を示す。

同表のほか、各偵察用ロボットには、ダスト採取装置及び集音マイクが、装備可能である。

表 3.1.3 各偵察用ロボットの主な仕様

ロボット名称	J-4	J-5	J-11
クローラ	メインクローラ	前後サブクローラ付	前後サブクローラ付
重量 (kg)	60	60	40 (γカメラ除く)
概略寸法 (mm)	630 (W) × 830 (D) × 1040 (H)	520 (W) × max1300 (D) × 1300 (H) (D:サブクローラを床に平行にした場合)	450 (W) × max920 (D) × max1000 (H) (D:サブクローラを床に平行にした場合)
登坂能力	<ul style="list-style-type: none"> 傾斜 (実績値: 40° (デモ階段傾斜)) 一般的な階段1段程度の障害物は乗り越え可能 	同左	同左
旋回*	信地、超信地	信地、超信地	信地、超信地
旋回径 (cm)	90	70	70
操作 (動作) 時間 (h)	1	0.5	2
温度計搭載	有	有	有
カメラ搭載	前方	前方 (前後俯瞰)	前方 (前後俯瞰)
その他搭載機器	線量率計 前方LED照明灯	線量率計 前方LED照明灯	γカメラ 前方LED照明灯
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 緩やかな段差越え 階段昇降 (デモ階段高さは、17cmで昇降可能) 	<ul style="list-style-type: none"> 段差越え 階段昇降 (デモ階段高さは、17cmで昇降可能) サブクローラによる段差乗り越え時の衝撃吸収 デモ階段踊り場で旋回可能 	

* 片方のクローラを停止させて旋回する場合を信地旋回、左右のクローラを逆回転させて旋回する場合を超信地旋回と称している。

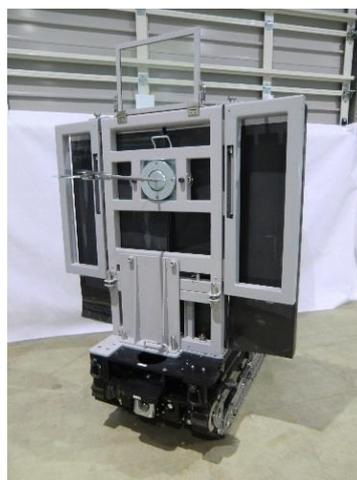
3.2 作業用ロボット

訓練に使用する作業用ロボットは、J-6（台車部）＋JT-23（作業機構部）及びJ-7（台車部）＋JT-71（作業機構部）の2台である。

図3-2に、J-6＋JT-23及びJ-7＋JT-71の外観写真を示す。



J-6 + JT-23



J-7 + JT-71

図3-2 J-6＋JT-23及びJ-7＋JT-71の外観写真

3.2.1 作業用ロボットの使用目的

作業用ロボットの使用目的は、事故発生時に高線量瓦礫等から作業員を守ること及び予想できない危険を回避することである。

原子力施設の事故で想定される現場は、線量率が高くなるとともに、火災、爆発などの発生のおそれがある。また、復旧作業においては、高線量の瓦礫が存在する場合及び内部の状況が分からないまま扉を開ける事が必要になる場合等が想定される。

この際の障害物除去等の事故対応は、遮蔽体等の重量物運搬、架台付トング及びマニプレータ（多関節アームロボット）を用いた扉解放等の能力を有する作業用ロボットを用いることを基本とする。

3.2.2 作業用ロボットの基本構成及び主な仕様

① 基本構成は、以下のとおりである。

- 走行型ロボット（J-6、7）
- 架台付トング（JT-71）
- マニプレータ（JT-23）
- 操作ボックス（PC、コントローラ、バッテリー、アンテナ等収納）

② 主な仕様

表 3.2.2 に各作業用ロボットの主な仕様を示す。

表 3.2.2 各作業用ロボットの主な仕様

ロボット名称	作業用ロボット	
	J-6+JT-23	J-7+JT-71
クローラ	メインクローラ	メインクローラ
重量 (kg)	620 (マニプレータ含む)	900 (遮蔽体 32 枚含む)
寸法 (mm)	650 (W) ×1520 (D) ×1450 (H) (W と H は、マニプレータ収納時)	1240 (W) ×1520 (D) ×1880 (H) (W と H は、遮蔽付トングのフレームを開いた状態)
登坂能力	緩やかな段差 (約 16cm) 可能	緩やかな段差 (約 16cm) 可能
旋回	信地、超信地	信地、超信地
旋回径 (cm)	160	160
操作 (動作) 時間 (h)	1	1
温度計搭載	無	無
カメラ搭載	前方、後方	前方、後方
マニプレータ	7 軸アーム	トング
遮蔽	—	タングステン遮蔽
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緩やかな段差越え ・ 中折れ機構で段差乗り越え時の衝撃吸収 ・ 小物撤去 ・ 扉開放 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緩やかな段差越え ・ 中折れ機構で段差乗り越え時の衝撃吸収 ・ 小物撤去 ・ 遮蔽板吊下げ構造

3.3 小型無人ヘリ

訓練に使用する小型無人ヘリは、ZION-4、JH-101～104 及び JH-201～204 である。

図 3-3 に、ZION-4、JH-101～104 及び JH-201～204 の外観写真を示す。

初級における飛行操作訓練は、使用ヘリを有線給電機である ZION-4 により行う。

中級における飛行操作訓練は、使用ヘリを、ZION-4、JH-101～104 のいずれか及び JH-201～204 のいずれか、の順に変えて行う。なお使用ヘリの変更は、訓練生の技量が、各使用ヘリにおいて安定したホバリング（定位置での飛行）が可能と判断された場合に、次に移行することとしている。



JH-101 外観写真（JH-101～104 は同型機）



JH-201 外観写真（JH-201～204 は同型機）

図 3-3 JH-101～104、JH-201～204 及び ZION-4 の外観写真（1/2）



ZION-4 外観写真

図 3-3 JH-101～104、JH-201～204 及び ZION-4 の外観写真 (2/2)

3.3.1 小型無人ヘリの使用目的

小型無人ヘリの使用目的は、原子力施設で事故が発生した際に、原子炉施設及び建屋周辺の放射線量測定や映像を撮影し、作業環境の測定や偵察を行うことである。

3.3.2 小型無人ヘリの基本構成及び主な仕様

① 基本構成は、以下のとおりである。

- 本体
- 操作卓（映像ディスプレイ、映像受信機、タブレット、テレメトリ）
- プロポ

② 主な仕様

表 3.3.2 に各小型無人ヘリの主な仕様を示す。

表 3.3.2 各小型無人ヘリの主な仕様

訓練で使用する順番	1	2	3
管理番号	ZION-4	JH-101~104	JH-201~204
型式	ZION-4-450	ZionPT400	ZionPG560
メーカー	enRoute	enRoute	enRoute
電源	11.1V	11.1V×2	22.2V×2
寸法 (mm)	500 (W) ×500 (D) ×110 (H)	570 (W) ×570 (D) ×170 (H)	800 (W) ×800 (D) ×200 (H)
飛行場所	屋内	屋内	屋内外
搭載可能重量 (g)	- (練習専用機)	100 (バッテリー除く)	600 (バッテリー除く)
飛行時間 (min) (設計値)	- (有線給電)	5	10
プロペラ数	4枚	8枚 (上下反転4組)	4枚
搭載機器	- (練習専用機)	カメラ (実況、録画) 軽量型線量率計	カメラ (実況、録画) 軽量型線量率計
無線通信周波数 (ヘリ本体とプロポ)	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
通信距離(m)	有線の範囲	300 (実況映像到達距離)	300 (実況映像到達距離)
プログラム飛行	なし	なし	有 (GPS設定)
特徴	落下時に破損しにくい 長時間飛行可能 (有線)	無線ヘリ特性習得用	事故対応用実機

4 初級編（操作要員育成プログラム）

4.1 偵察用ロボット操作

初級の偵察用ロボット訓練は、操作訓練、放射線測定訓練及び認定試験により構成する。

4.1.1 操作訓練

操作訓練は、任意の1台の偵察用ロボットを用い、90分間に以下を行う。

- ① 操作卓により、システム全体の起動を行う。
- ② コントローラにより、偵察用ロボットを前進、後退、左右旋回、信地旋回及び超信地旋回させる。
- ③ 操作卓により、システム全体の停止を行う。
- ④ システムを再起動し、偵察用ロボットを目視確認しながら、高さ約10cmの模擬段差（パレット）の乗り越え操作（段差越え操作と称している。）を行い、システムを停止する。

図 4.1.1-1、4.1.1-2 に、操作卓、コントローラ及び模擬段差の外観写真を示す。



図 4.1.1-1 操作卓及びコントローラ外観写真



図 4.1.1-2 模擬段差（パレット）の外観写真

4.1.2 放射線測定訓練

放射線測定訓練は、30 分間を使用し、以下を順に行う。

- ① 操作卓により、放射線測定システム（GM 管ソフトと称している。）の起動を行う。
- ② 操作卓により、所定の設定を行い、計測を開始する。（自動停止する。）
- ③ 操作卓により、放射線測定システムの停止を行う。

図 4.1.2-1、4.1.2-2 に、放射線測定システムの画面表示の例を示す。



図 4.1.2-1 GM 管計測結果表示ソフト メイン画面

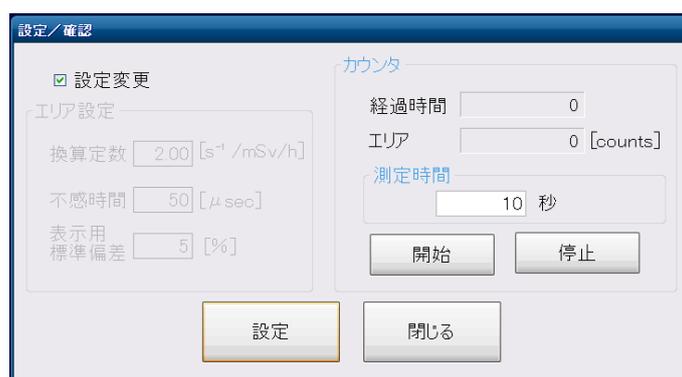


図 4.1.2-2 GM 管計測結果表示ソフト 設定画面

4.2 作業用ロボット操作

初級の作業用ロボット訓練は、プラットフォーム（以下、「台車部」という）の操作訓練、作業ロボット（作業機構部）の操作訓練及び認定試験により構成する。

4.2.1 台車部操作

操作訓練は、任意の 1 台の台車部を用い、50 分間に以下を行う。

- ① 操作卓により、システム全体の起動を行う。
- ② コントローラにより、台車部を前進、後退、左右旋回、信地旋回及び超信地旋回させる。
- ③ 操作卓により、システム全体の停止を行う。
- ④ システムを再起動し、台車部を目視確認しながら、約 10cm の角材の段差越え操作を行い、システムを停止する。

4.2.2 作業ロボット（作業機構部）操作

操作訓練は、作業ロボット（作業機構部）の JT-71（長尺トング）及び JT-23（腕状）のそれぞれについて、JT-71 については 10 分間に及び JT-23 については 65 分間に、以下を行う。

(1) JT-71 について

- ① 遮蔽板組み立て及び長尺トングの所定位置取り付けを行う。
- ② 長尺トングの操作確認を行う。

(2) JT-23 について

- ① 操作卓により、システム全体の起動を行う。
- ② コントローラにより、腕状部の基本操作（上下、前後及び左右移動並びに上下、時計及び反時計回転）を行う。

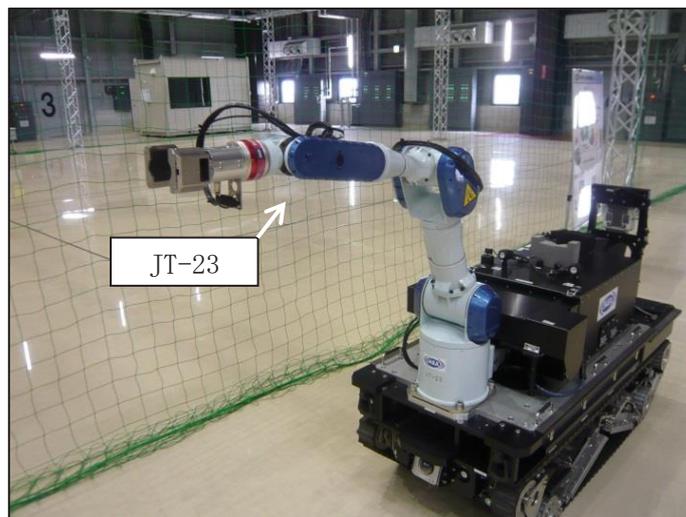
- ③ 操作卓により、システム全体の停止を行う。
- ④ システムを再起動し、J-6 及び JT-23 を目視確認しながら、机上の約 5cm の木片の把持及び約 1m 離れた机上への当該木片の移動（自立させる）を行い、システムを停止する。

図 4.2.2 に、JT-71（長尺トング）及び JT-23（腕状）の外観写真を示す。



トング、遮蔽シート取付け時

JT-71（長尺トング）外観写真



JT-23（腕状）外観写真

図 4.2.2 JT-71（長尺トング）及び JT-23（腕状）の外観写真

4.3 小型無人ヘリ操作

初級の小型無人ヘリ訓練は、事故対応用実機である JH-201～204 のいずれかを用いた設定停止操作、有線給電機である ZION-4 を用いた飛行操作訓練及び認定試験により構成する。

4.3.1 事故対応用実機の設定停止操作

操作訓練は、JH-201～204 のうちの 1 機を用い、20 分間に以下を行う。

- ① 事故対応用実機の設定及び停止操作（ミッションプランナ設定*を含む）

*GPS を用いたプログラム飛行の設定をミッションプランナ設定と称している。

4.3.2 有線給電機飛行操作

操作訓練は、ZION-4 を用い、120 分間に以下を行う。

- ① 操作卓により、システムの起動を行う。
- ② プロポにより、基本操作（ヨー、ピッチ及びロール）を行う。
- ③ 操作卓により、システムの停止を行う。

4.4 初級判定表

初級訓練における操作の良否判定は、遠隔機材の基本的な動作機能の理解度を確認することを目的として訓練の最後に行う。表 4.4-1～4.4-4 に各遠隔機材の操作判定表を示す。

表 4.4-1 小型無人ヘリの操作判定表

小型無人ヘリの操作判定表【初級編】			
実施日：H 年 月 日 ()			
実施場所：日本原子力研究開発機構 檜葉遠隔技術開発センター 試験棟			
訓練者：_____			
判定者：_____			
項 目	JH-201 ^{※1}	有線 ^{※2}	備 考
実用機の起動操作が行えるか	良・否	—	
直 視 操 作	練習用ホビードローンを飛行できるか	—	—
	有線ドローンにて飛行ができるか	—	良・否
	有線ドローンにて飛行中にロール、ピッチ、ヨー操作が行えるか	—	良・否
	有線ドローンにてホバリング ^{※3} を30秒以上行えるか	—	良・否
実用機の停止操作が行えるか	良・否	—	
総 合 判 定	良 ・ 否		

※1：JH-201は、enRoute製 PG560
 ※2：有線は、enRoute製 ZION-4
 ※3：1mの高さを基準として、上下、前後、左右1mの範囲で床面に接触しないこと。

表 4.4-2 偵察用ロボットの操作判定表

偵察用走行ロボット／搭載ツール操作判定表【初級編】				
実施日：H 年 月 日 ()				
実施場所：日本原子力研究開発機構 櫛葉遠隔技術開発センター 試験棟				
訓練者：_____				
判定者：_____				
項目	J-4	J-5	J-11	備考
偵察用ロボットの起動が行えるか	良・否	良・否	良・否	
直視操作	前後走行が行えるか	良・否	良・否	
	左右旋回が行えるか	良・否	良・否	
	左右信地旋回が行えるか	良・否	良・否	
	速度変更が行えるか	良・否	良・否	
	サブクローラを倒すことができるか	—	良・否	良・否
	サブクローラを起こすことができるか	—	良・否	良・否
	段差を乗り越えることができるか	良・否	良・否	良・否
	ライトの点灯、消灯が行えること	良・否	良・否	良・否
	駆動系の動作停止が行えること	良・否	良・否	良・否
マスター、スレーブ電圧の確認ができるか	良・否	良・否	良・否	
GM管の起動が行えるか	—	良・否	—	
線量率および室温を確認できるか	良・否	良・否	良・否	
偵察用ロボットの終了操作が行えるか	良・否	良・否	良・否	
総合判定	良・否			

表 4.4-3 作業用ロボットの操作判定表（初級編）（1/2）

作業用ロボットの操作判定表【初級編】1/2		
実施日：H 年 月 日（ ）		
実施場所：日本原子力研究開発機構 櫛葉遠隔技術開発センター 試験棟		
訓練者：_____		
判定者：_____		
項目	J-6 / J-7	備考
走行用ロボットの起動が行えるか	良・否	
直視操作	前後走行が行えるか	良・否
	左右旋回が行えるか	良・否
	左右信地旋回が行えるか	良・否
	速度変更が行えるか	良・否
	クローラの中折れ／水平操作が行えるか	良・否
	非常停止、非常停止解除が行えるか	良・否
	ライトの点灯、消灯が行えるか	良・否
カメラの動作旋回が行えるか	良・否	
マスター、スレーブ電圧の確認ができるか	良・否	
偵察用ロボットの終了操作が行えるか	良・否	
総合判定	良・否	

表 4.4-3 作業用ロボットの操作判定表（初級編）（2/2）

作業用ロボットの操作判定表【初級編】 2/2			
実施日：H 年 月 日（ ）			
実施場所：日本原子力研究開発機構 櫛葉遠隔技術開発センター 試験棟			
訓練者：_____			
判定者：_____			
項 目	JT-23	JT-71	備 考
作業用ロボットの起動が行えるか	良・否	—	
直 視 操 作	姿勢変更が行えるか	良・否	—
	基本姿勢，退避姿勢，安全姿勢，扉開放	良・否	—
	アーム速度の変更が行えるか	良・否	—
	マスター、スレーブ電圧の確認ができるか	良・否	—
	各軸の操作が行えるか (S1右/左, S2上/下, S3右回/左回り, E1上/下 E2右回/左回, W1上/下, W2右回/左回)	良・否	—
	ハンドの開き、閉じが行えるか	良・否	—
	ライトの点灯、消灯が行えるか	良・否	—
	非常停止、非常停止解除が行えるか	良・否	—
	操作モードの切り替えが行えるか (各軸操作, 手先/ベース-姿勢/位置, 先端複 合)	良・否	—
	木片を把持し、所定位置まで移動が行える か	良・否	—
J-6と連動させ、木片を所定位置まで運搬 し静置ができるか	良・否	—	
作業用ロボットの終了操作が行えるか	良・否	—	
作業用ロボットの組み立てが行えるか	—	良・否	
JT-71にトングをセットできるか	—	良・否	
トングの操作を行えるか	—	良・否	
総合判定	良・否		

表 4.4-4 作業用ロボットの操作判定表（中級編）

偵察用走行ロボット操作判定表【中級編】				
実施日：H 年 月 日（ ）				
実施場所：日本原子力研究開発機構 楢葉遠隔技術開発センター 試験棟				
訓練者：_____				
判定者：_____				
項目	J-4	J-5	J-11	備考
バッテリーの交換が行えること。	—	良・否	良・否	
バッテリーの充電が行えること。	良・否	良・否	良・否	
初級編復習	起動→停止が行えること。	良・否	良・否	良・否
	（初級復習）J-4/J-5にて段差を越える操作が行えること。	良・否	良・否	—
	GM管のソフトを起動させ、測定開始から停止まで行えること。	—	良・否	—
認定試験	—	—	良・否	
総合判定	良・否			

5 中級編（操作要員育成プログラム）

5.1 偵察用ロボット操作

中級の偵察用ロボット訓練は、操作訓練、放射線測定訓練及び認定試験により構成する。

5.1.1 操作訓練

操作訓練は、75 分間に以下を行う。

- ① バッテリーの交換、充電作業を、J-4 及び J-5 用のニッケル水素バッテリー並びに J-11 用のリチウムポリマーバッテリーについて行う。ただしリチウムポリマーバッテリーの交換、充電作業は、小型無人ヘリの場合と同様のため、小型無人ヘリの訓練にて行ったときは、ここでの訓練は省略する。
- ② J-4 及び J-5 を用い、目視確認しながら、段差越え操作を行う。これは、初級編の復習である。なお、訓練進行状況より、任意の 1 台のみで行う場合もある。J-11 を用い、訓練走行路 I にて、斜面、段差及び旋回走行に関する操作を行う。
- ③ 初回操作は、J-11 を目視確認しながら行う。以降は、J-11 に搭載のカメラ映像のみを確認しながら行う。このロボットに搭載のカメラ映像による操作を、ブラインド操作と称している。
- ④ システムを再起動し、偵察用ロボットを目視確認しながら、高さ約 10cm の模擬段差の乗り越え操作（段差越え操作と称している。）を行い、システムを停止する。

図 5.1.1 に、訓練走行路 I の概要図を示す。

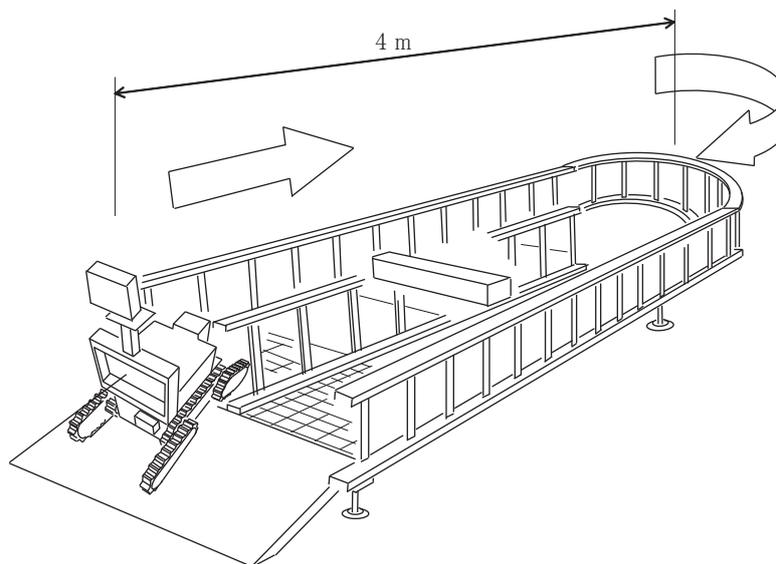


図 5.1.1 訓練走行路 I の概要図

5.1.2 放射線測定訓練

放射線測定訓練は、25分間を使用し、以下を順に行う。

なお本訓練は、初級編の復習である。

- ① 操作卓により、放射線測定システム（GM管ソフトと称している）の起動を行う。
- ② 操作卓により、所定の設定を行い、計測を開始する（自動停止する）。
- ③ 操作卓により、放射線測定システムの停止を行う。

5.2 作業用ロボット操作

中級の作業用ロボット訓練は、台車部の操作訓練、作業ロボット（作業機構部）の操作訓練及び認定試験により構成する。

5.2.1 台車部操作

操作訓練は、任意の1台の走台車部を用い、35分間に以下を行う。

- ① J-6及びJ-7用ニッケル水素バッテリーの交換及び充電作業を行う。
- ② 訓練スロープIの走行操作を行う。初回操作は、目視確認をしながら行う。以降は、ブラインド操作により行う。

図5.2.1に、訓練スロープIの概要図を示す。

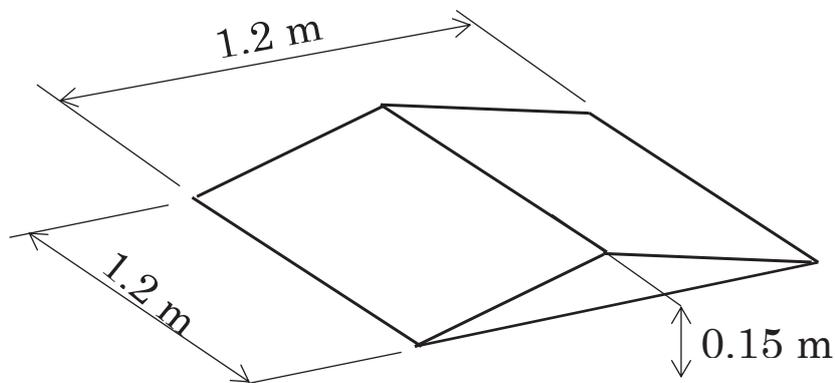


図 5.2.1 訓練スロープ I の概要図

5.2.2 作業ロボット(作業機構部)操作

操作訓練は、バッテリーの交換、充電作業説明を 5 分間行った後、作業ロボット（作業機構部）の JT-71（長尺トング）及び JT-23（腕状）のそれぞれについて、JT-71 については 10 分間に及び JT-23 については 55 分間に、以下の項目を行う。

(1) JT-71 について

- ① 遮蔽板組み立て及び長尺トングの所定位置への取付けを行う。
- ② 長尺トングの操作確認を行う。

なお本訓練は、初級編の復習である。

(2) JT-23 について

- ① 腕先端部爪の交換を行う。
- ② 高さ約 30cm の机上の約 5cm の木片の把持及び約 2m 離れた高さ約 70cm の机
上へ当該木片を移動させる操作を行う。

初回操作は、目視確認をしながら行う。以降は、ブラインド操作により行う。

図 5.2.2 に、JT-23 の木片の把持及び移動訓練の概要図を示す。

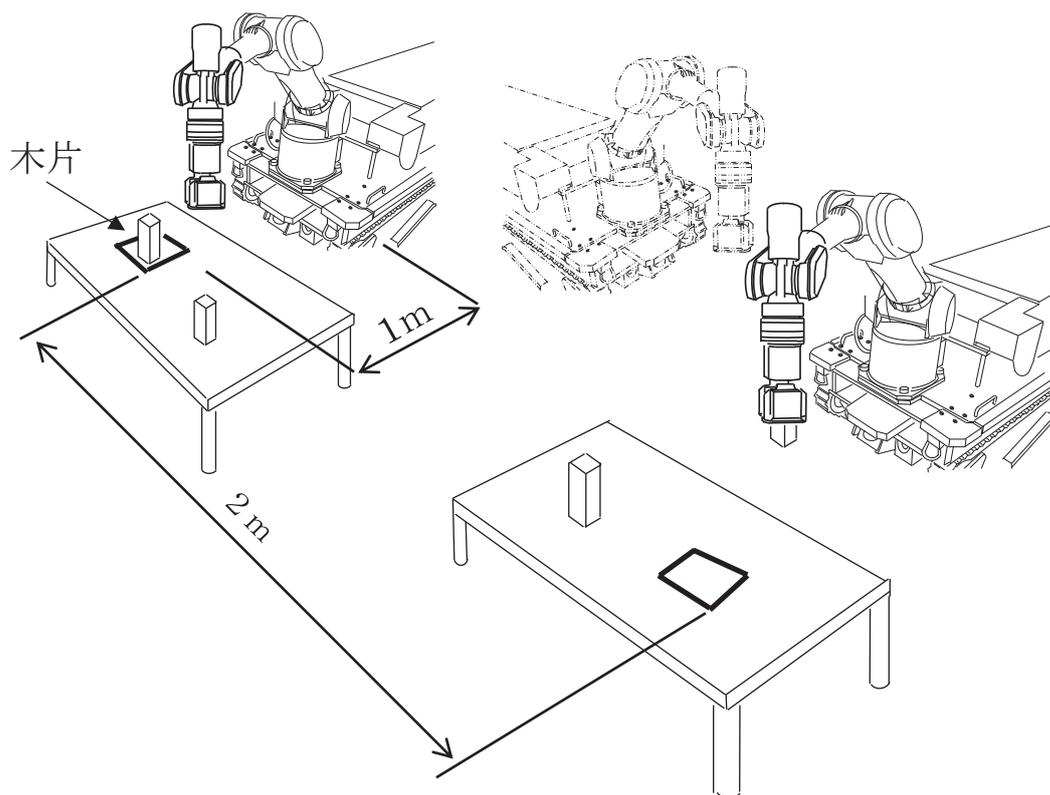


図 5.2.2 JT-23 の木片の把持及び移動訓練の概要図

5.3 小型無人ヘリ操作

中級の小型無人ヘリ訓練は、事故対応用実機である JH-201～204 のいずれかを用いた設定停止操作、飛行操作訓練及び認定試験により構成する。

5.3.1 事故対応用実機の設定停止及び飛行操作

操作訓練は、JH-201～204 のうちの 1 機を用い、55 分間に以下を行う。

- ① ミッションプランナ及びプロポの設定確認を行う。
- ② 線量計の取り付け及び取り外し並びに通信操作を行う。
- ③ モーションキャプチャエリアのネット内にて、飛行操作訓練を行う。

ここで JH-201～204 の操作訓練に先立って、復習と習熟のために最初 ZION-4、次に JH-101～104 のいずれかを用いて飛行操作訓練を行う。

この際訓練生の技量が、ZION-4 で安定したホバリングが可能と判断された場合に、JH-101～104 のいずれかに移行する。

さらに JH-101～104 で安定したホバリングが可能と判断された場合に、JH-201～204 のいずれかに変えて飛行操作訓練を行う。

5.4 中級判定表

中級訓練における操作の良否判定は、遠隔機材の基本的な動作機能に加え、原子力関連施設内で遠隔機材を使用することを想定し、周囲に障害物等がある環境での遠隔操作理解度を確認することを目的として訓練の最後に行う。図 4.4.1～4.4.4 に各遠隔機材の操作判定表を示す。

中級判定表を、表 5.4-1～5.4-3 に示す。

表 5.4-1 小型無人ヘリの操作判定表

小型無人ヘリの操作判定表【中級編】			
実施日：H 年 月 日 ()			
実施場所：日本原子力研究開発機構 楢葉遠隔技術開発センター 試験棟			
訓練者： _____			
判定者： _____			
項 目	JH-201	備 考	
ミッションプランナーの設定が確認できること。	良・否		
プロポの設定が確認できること。	良・否		
線量率計の取り付け／取り外しができること。	良・否		
線量率計の通信操作ができること。	良・否		
認定試験	以下に示すモーションキャプチャエリア内の6m角の線に沿って、飛行を2週行えること。	良・否	
認定試験	2週後に対角線上に飛行を行い、ヘリポートの枠内に着陸できること。	良・否	
総 合 判 定	良 ・ 否		

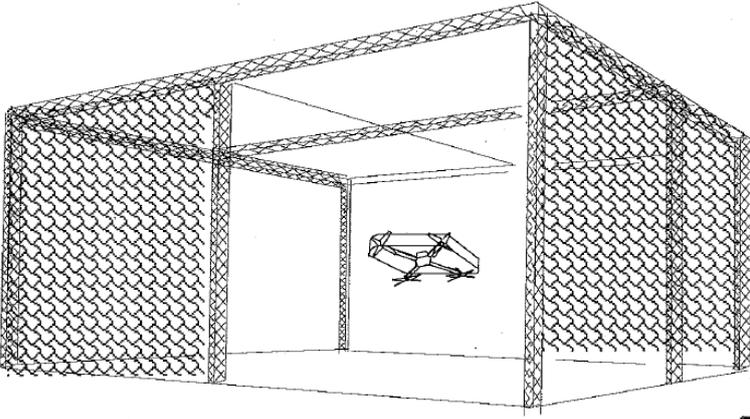
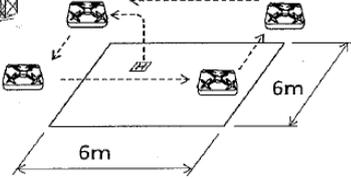



表 5.4-2 偵察用ロボットの操作判定表

偵察用走行ロボット操作判定表【中級編】				
実施日：H 年 月 日 ()				
実施場所：日本原子力研究開発機構 櫛葉遠隔技術開発センター 試験棟				
訓練者： _____				
判定者： _____				
項目	J-4	J-5	J-11	備考
バッテリーの交換が行えること。	—	良・否	良・否	
バッテリーの充電が行えること。	良・否	良・否	良・否	
初級編復習	起動→停止が行えること。	良・否	良・否	良・否
	(初級復習) J-4/J-5にて段差を越える操作が行えること。	良・否	良・否	—
	GM管のソフトを起動させ、測定開始から停止まで行えること。	—	良・否	—
認定試験	—	—	良・否	
総合判定	良・否			

The diagram illustrates a training course for a mobile robot. It features a long, narrow track with a curved end. A robot is positioned at the start of the track. A dimension line indicates a 4m distance from the start to a point marked with a circled 2. A circled 1 is next to an arrow pointing right, indicating the direction of travel.

表 5.4-3 作業用ロボットの操作判定表

作業用ロボットの操作判定表【中級編】				
実施日：H 年 月 日 ()				
実施場所：日本原子力研究開発機構 楢葉遠隔技術開発センター 試験棟				
訓練者：_____				
判定者：_____				
項 目	J-6/J-7	JT-23	JT-71	備 考
バッテリーの交換が行えること。	良・否	良・否	—	
バッテリーの充電が行えること。	良・否	良・否	—	
訓練スロープ走行操作がブラインドで行えること。	良・否	—	—	
初級編復習 JT-71の組み立て作業が行えること。	—	—	良・否	
JT-23のハンド爪が交換できること。	—	良・否	—	
認定試験 ブラインド操作にて、以下に示すテーブルに配置した木片を、隣のテーブル上まで15分以内に運搬・配置できること。	良・否	良・否	—	
総 合 判 定		良 ・ 否		

木片

6 まとめ

原子力災害対策特別措置法及び同法「計画等命令」への対応のため、遠隔機材整備運用課は、機構内原子力緊急事態支援組織として、対象となる JRR-3、東海再処理施設、JMTR、HTTR、常陽、もんじゅ及びふげんから選出された要員に対して、緊急時対応用遠隔操作資機材の操作訓練を開始した。

操作訓練は、偵察用ロボット、作業用ロボット及び小型無人ヘリに関して、初級、中級及び上級の3段階に分けて実施することとした。

2018年度上期に実施した初級及び中級の操作訓練において定めた、初級編（操作要員育成プログラム）及び中級編（操作要員育成プログラム）プログラムについて、関連情報とともにここにとりまとめた。

参考文献

[1] 千葉悠介, 加藤貢, 野崎信久, 川端邦明, 川妻伸二, 平成28年度 檜葉遠隔技術開発センター年報, JAEA-Technology2018-014, 2018, pp.2-3.

謝 辞

操作要員育成プログラムの詳細手順の作成に当たっては、遠隔機材整備運用課の椿裕彦氏、岩井正樹氏、小泉聡氏及び大野隼人氏の豊富な経験及び深い知見に拠るところ多大なものでありました。ここで各氏に対し感謝の意を表します。また、当該プログラムへの助言及び訓練実施の際の安全管理を全面的に監督していただいた現福島研究開発拠点保安管理室中井宏二氏に深く感謝申し上げます。最後に、訓練要員への実技指導を全力で支援して下さった、株式会社アセンドの羽生敏紀課長代理、阿部浩之氏、通野和人氏及び細谷佑太氏に感謝いたします。

This is a blank page.

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
比透磁率 ^(b)	(数字の)	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 ^(e)	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	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
光路長	ルーメン	lm	cd sr ^(e)	cd
放射線量	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み、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (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間は同一である。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
電表面電荷	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=0.1MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm 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	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 =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm 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=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π)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「△」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=1cGy=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=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ), 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロ	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

