JAEA-Technology 2020-007

DOI:10.11484/jaea-technology-2020-007

原子力災害対応用マニュプレータ及び 手動弁開閉用ロボットの設計製作

Design and Produce Two Sets of Multi-joint Manipulator (for Opening a Door) against Nuclear Disaster and a Crawler Robot for Opening and Closing Manual Valves

西山 裕 岩井 正樹 千葉 悠介 椿 裕彦 大野 隼人 早坂 寿郎 羽生 敏紀

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

福島研究開発部門 福島研究開発拠点 楢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

September 2020

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 $\overline{}$ $\overline{\phantom{a$

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, 2020

原子力災害対応用マニュプレータ及び手動弁開閉用ロボットの設計製作

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 楢葉遠隔技術開発センター

西山 裕、岩井 正樹+、千葉 悠介、椿 裕彦、大野 隼人*、早坂 寿郎*、羽生 敏紀*

(2020年5月22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二十三年文部科学省・経済産業省令第四号「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 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も対応を行った。楢葉遠隔技術開発センター遠隔機材整備運用課は、当該計画等命令に対応し令和 2 年度から本格運用となる、日本原子力研究開発機構内の原子力緊急事態支援組織の中核を担っている。

遠隔機材整備運用課の重要な任務に、遠隔機材である作業用ロボットの整備運用がある。前述の本格運用に対応するため、平成30年度に作業用ロボット(走行部、配備済)に搭載する原子力災害対応用マニュプレータ(扉開閉用)を、令和元年度に手動弁開閉用ロボット(走行部及び搭載機器により構成)の設計及び製作をそれぞれ行った。

本報告書は、平成30年度及び令和元年度に実施した、原子力災害対応用マニュプレータ及び手動弁開閉用ロボットの設計及び製作に関するものである。

楢葉遠隔技術開発センター:〒979-0513 福島県双葉郡楢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

Design and Produce Two Sets of Multi-joint Manipulator (for Opening a Door) against Nuclear Disaster and a Crawler Robot for Opening and Closing Manual Valves

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

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 May 22, 2020)

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

The section needs to develop equipment for JAEA nuclear emergency. Because of dealing the full-scale operation, the section designed and produced two sets of Multi-joint Manipulator or (for Opening Doors) against Nuclear Disaster in order to put them on two crawler robots in 2018 fiscal year.

And the section also designed and produced a Crawler Robot for Opening and Closing Manual Valves in 2019 fiscal year.

This report shows two sets of Multi-Joint Manipulator (for Opening Doors) and a Crawler Robot for Opening and Closing Manual Valves designed and produced by Maintenance and Operation Section for Remote Control Equipment in 2018 and 2019 fiscal year.

Keywords: Remote Control Technology, Multi-joint Manipulator, Crawler Robot, Emergency Response, Naraha Center for Remote Control Technology Development, JAEA

⁺ Fugen Decommissioning Engineering Center, Sector of Tsuruga Decommissioning Demonstration

^{*} Ascend Co., Ltd.

目 次

1	は	じめに	Z	1
2	原-	子力的	災害対応用マニュプレータ(扉開閉用)の設計及び製作	2
	2.1	作業	美用ロボット(車体部)の概要	2
	2.2	原子	子力災害対応用マニュプレータ(扉開閉用)の設計及び製作	4
	2.	2.1	設計条件	4
	2.	2.2	設計仕様	4
	2.	2.3	試験検査	6
	2.	2.4	遠隔操作できる内容(主要事項)	6
3	手	動弁	開閉用ロボットの設計及び製作	9
	3.1	設計	十条件	9
	3.2	設計	†仕様	10
	3.3	試騎	検査	12
	3.4	遠隔	掃操作できる内容(主要事項)	14
4	ま	とめ		16
参	考文	献		16
謝	辞			16
付	録	動作	用搭載電池容量増加によるロボットアームの作業時間延長化作業の概要	17

Contents

1	Introd	luction	1
2	Design	and Produce Two Sets of Multi-joint Manipulator (for Opening a Door)	
	again	st Nuclear Disaster	2
	2.1 C	rawler-type Mobile Robots for Tasks	2
	2.2 D	Design and Produce Two Sets of Multi-joint Manipulator (for Opening a Door)	
	again	st Nuclear Disaster	4
	2.2.1	Design Requirements	4
	2.2.2	Design Specifications	4
	2.2.3	Tests and Inspections	6
	2.2.4	Remote Controllable Parts (Main Items)	6
3	Desig	gn and Produce a Crawler Robot for Opening and Closing a Manual Valves	9
	3.1 De	esign Requirements	9
	3.2 De	esign Specifications	10
	3.3 Te	sts and Inspections	12
	3.4 Re	emote Controllable Parts (Main Items)	14
4	Summ	ary	16
R	eference	····	16
A	cknowle	dgements	16
A	ppendix	Overview of the Task for the Operational Time Extension by Converting	
		Loading Single battery into Double	17

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平成二十三年文部科学省・経済産業省令第四号「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 年に計画等命令が 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。楢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、平成30年度に作業用ロボット(配備済のクローラ走行車体部分)(以下「台車」という。)に搭載するための原子力災害対応用マニュプレータ (扉開閉用)を、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(台車及び搭載機器により構成)の設計及び製作をそれぞれ行った。

本報告書は、平成30年度及び令和元年度に行った、原子力災害対応用マニュプレータ及び手動 弁開閉用ロボットの設計及び製作に関するものである。

2 原子力災害対応用マニュプレータ (雇開閉用) の設計及び製作

原子力災害対応用マニュプレータ(扉開閉用)の設計及び製作を行い、配備済の作業用ロボットの台車 J-6 及び J-7 (記号は各台車の名称であり、同じ仕様である。) に搭載した。

本章では、まず J-6 及び J-7 の概要を記し、次に原子力災害対応用マニュプレータ(扉開閉用)の設計及び製作について述べる。

なお、次章で述べる手動弁開閉用ロボットは、台車及び搭載機器を一体構造設計としており、 また当該台車は J-6 及び J-7 とは仕様が異なる。このため、原子力災害対応用マニュプレータ(扉 開閉用)を手動弁開閉用ロボットの台車へ搭載することは現状では想定していない。

2.1 作業用ロボット(車体部)の概要

J-6 及び J-7 は、平地走行用のメインクローラを備え、そのメインクローラの接地部中央に、クローラの一部を上方に折り曲げる機構(以下、「中折れ機構」という)を有している。中折れ機構により、約 16cm までの緩やかな段差の衝撃を吸収しながら越えることのできる仕様としている。J-6 及び J-7 には、階段昇降能力を確保するサブクローラは装備していない。

J-7 の外観写真を Figure 2.1.1 に、主な仕様を Table 2.1 に示す。また、J-6 及び J-7 の三面 図を、Figure 2.1.2 に示す。なお Figure 2.1.2 には、台車上部の搭載機器との取合部についても示している。

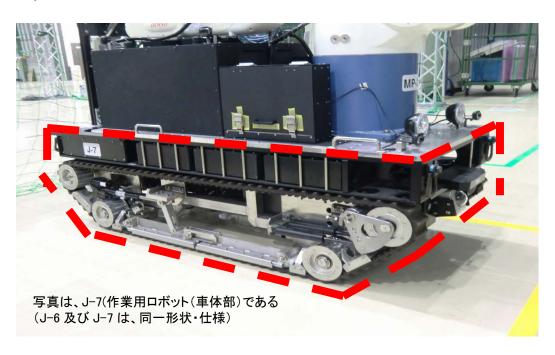


Figure 2.1.1 J-7 exterior photo

Table 2.1 J-6&J-7 Main Specifications

Name	Crawler-type Mobile Robots for Tasks J-6&J-7
Crawler	Main Crawler
Weight	About 360 kg
Movable Loads	Max. 300 kg
Uphill Ability	Can Get over Gentle Steps (about 16 cm) *
Turn	Pivotal Break Turns, Extra-Pivotal Turns
Turning Radius	160 cm
Operating Time	1 hour
Thermometer	Not Mounted
Cameras	Front, Rear
Others	Built-in the Center Bending Mechanism

^{*} By using the center bending mechanism

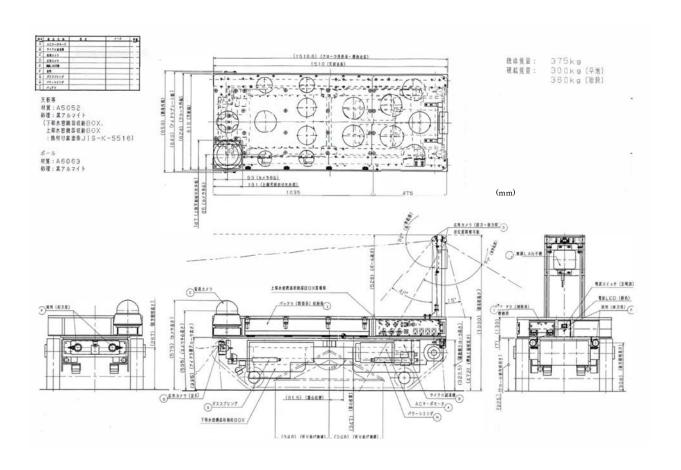


Figure 2.1.2 Three-view of J-6 or J-7 Drawn by TOPY INDASTRIES, LIMITED

2.2 原子力災害対応用マニュプレータ (雇開閉用) の設計及び製作

原子力災害対応用マニュプレータ(扉開閉用)は、前項記載の J-6 又は J-7 に搭載するために設計及び製作が行われた機器である。

2.2.1 設計条件

- ① J-6 又は J-7 に搭載でき、遠隔操作できること。
- ② 伸長時のマニュプレータ長さは、1.5m以上であること。
- ③ マニュプレータ先端にグリッパを取り付けること。
- ④ ③のグリッパにより、扉の取手を把持・回転させ、扉を開放できること。 ここで扉の取手は、丸ノブ及びレバーノブを想定する。なお、グリッパ変更により、双 方のノブに対応することは認める。
- ⑤ マニュプレータ先端に接続機構を設け、用途に応じてツールを交換でき、障害物等重量 物の運搬を可能とすること。
- ⑥ 目標物設定の機能を有すること。
- ⑦ マニュプレータの起動及び動作終了が、簡易な操作で安全に行えること。
- ⑧ 非常停止装置を、マニュプレータ本体側及び遠隔操作側の両方に設けること。

2.2.2 設計仕様

① J-6 又は J-7 には、Figure 2.1.2 に記載の搭載機器との取合部を利用して搭載する。 マニュプレータ本体の重量は、約 130kg 以内とする。

電源は、リチウムポリマー電池を使用する。

またマニュプレータ操作装置(ラップトップ型計算機及び Microsoft®社製 Xbox 360® コントローラ)により、遠隔操作できる。なお当該操作装置には、⑧で述べるカメラ映像を表示できる。

- ② 伸長時のマニュプレータ長さを、約1,500mm とする。
- ③ マニュプレータ先端にグリッパを取り付ける。マニュプレータのイメージを Figure 2.2.1 に示す。
- ④ ③のグリッパ(単一品)により、扉の取手(丸ノブ又はレバーノブ)を回転又は把持でき、扉を開放できる。

グリッパは、最大 100N の力で物体を把持・運搬できる。

マニュプレータは、6軸以上の可動関節を有する。

マニュプレータには順運動学機能国を組み込み、関節を個別に動かすことができる。

マニュプレータには逆運動学機能[3]を組み込み、操作者はグリッパ先端を直感的に動かすことができる。

- ⑤ マニュプレータ先端に接続機構を設け、ツールを交換でき、重量物の運搬を可能とする。 マニュプレータには、フォースフィードバック機能(力覚センサ)を組み込み、マニュ プレータに作用している負荷の状態を、操作者が知覚できる。
- ⑥ 操作者により、カメラ映像により目標物設定ができる。 マニュプレータにより自動で、カメラ映像により目標物設定を行い、かつ自動で扉の取 手を把持する。

マニュプレータの関節に、マニュプレータ先端の状態を確認できるカメラを 1 台取り付ける。

マニュプレータの可動部以外で、かつ通常動作ではマニュプレータ可動部と干渉しない 位置にドアノブが確認できるカメラを取り付ける。

ここで述べた二種類のカメラの接続は、USB もしくは LAN ケーブルを用いて行う。

- ⑦ マニュプレータの起動及び動作終了が、簡易な操作で安全に行える。
- ⑧ 非常停止装置を、マニュプレータ本体側及び遠隔操作側の両方に設ける。

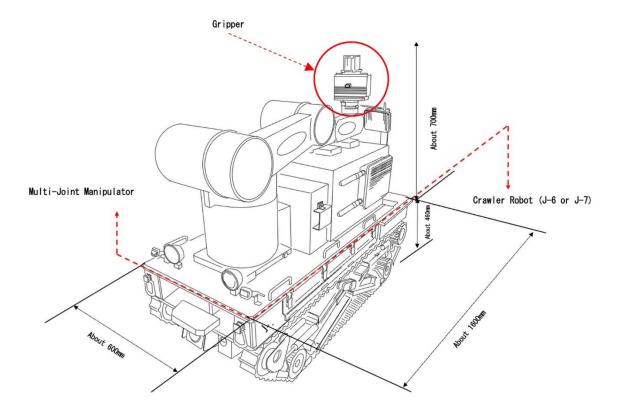


Figure 2.2.1 An Image of a Gripper Mounted on the Multi-Joint Manipulator

2.2.3 試験検査

2.2.2 設計仕様に基づき、原子力災害対応用マニュプレータ(扉開閉用)を製作した。当該マニュプレータの重量積算図面を Figure 2.2.2 に示す。なお当該図では、各部品の詳細は、設計上の観点より公開可能範囲のみ示している。

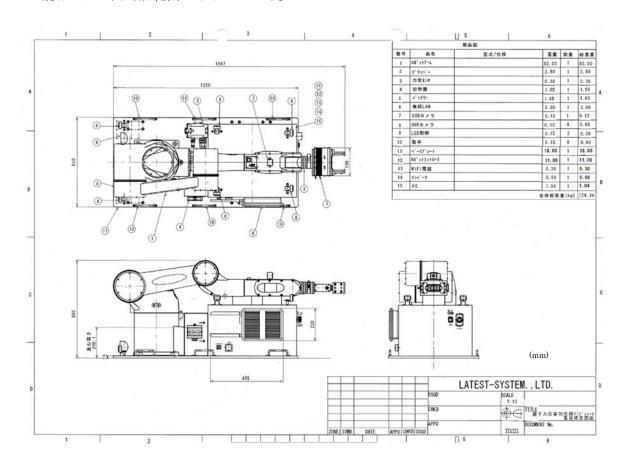


Figure 2.2.2 The Multi-Joint Manipulator (for Opening Doors) against Nuclear Disaster

Drawn by LATEST SYSTEM

原子力災害対応用マニュプレータ (扉開閉用)の試験検査を NARREC において実施し、2.2.2 設計仕様を満足することを確認した。

通常の機器に対する外観検査、寸法検査等のほか、可動関節が 6 軸あること、USB カメラが 7 台あること及び照明が 2 台搭載されていること並びに設計仕様で示したマニュプレータの動作の性能を確認した。

2.2.4 遠隔操作できる内容(主要事項)

原子力災害対応用マニュプレータ (雇開閉用) は、本体にパーソナルコンピューター (以下、「PC」という) を搭載し、遠隔操作用 PC と無線 LAN 通信により接続し、遠隔操作用 PC において遠隔操作できるものである。

遠隔操作できる主要な事項を Table 2.2 に示す。

Table 2.2 Remote Controllable Items (Main Items) of the Multi-Joint Manipulator (for Opening Doors) against Nuclear Disaster

Item	Specification
Wireless Communication	On / Off
LED Lighting System	On / Off
Manipulator Arm Moving Speed	High / Middle / Low (Selectable)
Cameras	Monitoring Camera Selection
Photos	Still Image Recording (BMP)
Video	Monitoring Camera Image Recording (MP4)
Emergency Stop	Stop / Restart
Alarm Release	Releasing Alarms
PC Restart	Restarting the Computer for Control
Axes Operation	Controlling with Axes Operation Mode
Prevailing the Leading Edge	Controlling with Prevailing the Leading Edge
Operation	Operation Mode
Hand Torque	Big / Middle / Small (Selectable)
Hand	Open / Close / Keep (Selectable)
Wrist Turn	Controlling the Wrist Rolling Axis
WHST TUIT	with Axes Operation Mode
Wrist Up & Down	Controlling the Wrist Vertical Axis
Wrist Op & Down	with Axes Operation Mode
Forearm Turn	Controlling the Forearm Rolling Axis
Forearm Turn	with Axes Operation Mode
Forearm Up & Down	Controlling the Forearm Vertical Axis
Potearin op & Bown	with Axes Operation Mode
Upper Arm Turn	Controlling the Upper Arm Rolling Axis
Opper min rum	with Axes Operation Mode
Upper Arm Up & Down	Controlling the Upper Arm Vertical Axis
opportum op w bown	with Axes Operation Mode

J-6 及び J-7 に搭載した状態の原子力災害対応用マニュプレータ(扉開閉用)の外観写真を Figure 2.2.3 に、遠隔操作用 PC の外観写真を Figure 2.2.4 に示す。

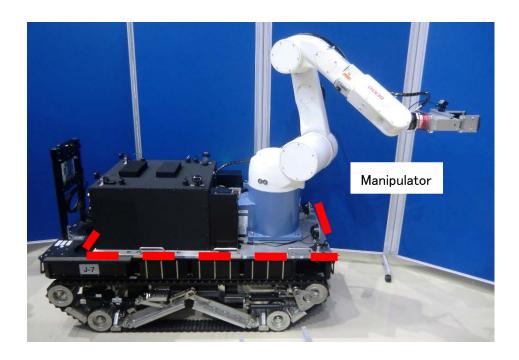


Figure 2.2.3 The Multi-Joint Manipulator (for Opening Doors) against Nuclear Disaster



 $Figure \ 2.2.4 \quad The \ Computer \ for \ Controlling \ the \ Multi-Joint \ Manipulator$

3 手動弁開閉用ロボットの設計及び製作

作業用ロボットのうち手動弁開閉用ロボット(台車及び搭載機器により構成)の設計及び製作 を行った。

前章に記した原子力災害対応用マニュプレータ(扉開閉用)を台車に搭載した場合(扉開閉用ロボット)との違いは、最大の把持力にあり、扉開閉用ロボットの場合グリッパで100N(機構が定めた設計仕様)であるのに対して、手動弁開閉用ロボットの場合その10倍を超える値を製作設計において設定した。なお、当該把持力の具体的な数値は、製作会社に属するものであるため、本報告書では記載しない。

3.1 設計条件

手動弁開閉用ロボットは、アーム部(搭載機器)、走行部(台車に相当)、電源部、制御・操作部及びユーティリテイにより構成する。

(1) アーム部の設計条件

- ① 先端のグリッパにより、手動弁(口径4B(100A))を開閉できること。
- ② 最大重量 50kg の重量物を把持し、移動させる能力を有すること。
- ③ グリッパの取り換え又はアタッチメントの取り付けにより、①及び②の操作を行うこと を認める。
- ④ 伸長時の長さは、1.6m 以下とすること。
- ⑤ 遠隔操作により、待機状態に移行及び通常状態に復帰できること。
- ⑥ 起動・終了が極力簡単な操作で行えること。
- ⑦ 取り付けたカメラによる映像を、制御・操作部に表示及び録画できること。
- ⑧ グリッパは、電源断時でも、手動で開放できること。

(2) 走行部の設計条件

- ① 高さ 200mm の段差を乗り越えられること。
- ② 幅 1,500mm 程度の通路にて旋回できること。
- ③ 0.65km/h 以上で走行できること(平地走行時)。また、走行速度が調整できること。
- ④ 積載重量は、最大 100kg (アーム部重量を除く) とすること。
- ⑤ 段差等の障害物走行に耐えうる耐久性を有すること。
- ⑥ アーム部及び走行部(以下「ロボット本体」という。)をクレーン等で吊り上げられること。

(3) 電源部の設計条件

- ① 発災現場でバッテリ交換を行うことを考慮した設計とすること。
- ② 想定稼働時間は、以下のとおりとすること。

ア 待機時 : 4時間程度 (無線通信及びカメラ等機器の稼働時)

イ 連続走行時 : 2時間程度(平地走行時)

(4) 制御・操作部の設計条件

① ロボット本体の制御 (遠隔にてロボット本体の操作及び付属カメラの操作等) 及びロボ

ット本体と通信する(無線及び有線 LAN、任意切替可とする)機器を搭載すること。

- ② ゲームパッド (コントローラ) により、ロボット本体の移動速度等を制御できること。 ここで、ゲームパッド (コントローラ) へ各機能を割り当てた設定は、再起動時も保存され、かつ随時変更できること。
- ③ 操作画面には、カメラ映像、ピッチ・ロール、フリッパ(サブクローラ)角度、電源電圧 及び無線 LAN 電界強度を表示できること。また、カメラ映像データを保存できること。
- (5) ユーティリテイの設計条件
 - ① ロボット本体に、カメラ、傾斜計、電池電圧計及び電界強度計 (無線機器からの情報取得)を搭載すること。
 - ② 屋内・屋外(段差等障害物、粉塵、暗所及び水溜まり等)の大気中で、長時間の使用に耐えること。

3.2 設計仕様

- (1) アーム部の設計仕様
 - ① 先端のグリッパは、回転可能とする。また、4軸以上の可動関節軸を有する。 さらに先端近傍や走行部に取り付けたカメラ映像で、把持等を行う目標物を確認できる。
 - ② 最大重量 50kg の重量物を把持し、移動させる能力を有する。
 - ③ グリッパの取り換え又はアタッチメントの取り付けにより、①及び②の操作を行う。
 - ④ 伸長時のフリッパの長さは、1.6m以下とする。
 - ⑤ 遠隔操作により、待機状態に移行及び通常状態に復帰できる。
 - ⑥ 起動・終了は、極力簡単な操作で行える。
 - ⑦ 取り付けたカメラによる映像を、制御・操作部に表示及び録画できる。
 - ⑧ グリッパは、電源断時でも、手動で開放できる。
- (2) 走行部の設計仕様
 - ① メインクローラ及びフリッパ(サブクローラ)を有する構造とする。 メインクローラ及びフリッパ(サブクローラ)は、それぞれ独立したモーターを装備し、 同期して回転する。フリッパ(サブクローラ)は、任意の角度に左右独立して設定できる。
 - ② 外形寸法は、以下のとおりとする。(参考値)

ア フリッパ収納時 : 全長約 1,100mm、全幅約 800mm、全高約 850mmイ フリッパ伸長時 : 全長約 1,450mm、全幅約 800mm、全高約 850mm

- ③ 0.65km/h 以上で走行できる(平地走行時)。また、走行速度が調整できる。
- ④ 重量は、約 330kg とする。(参考値) 積載重量は、最大 100kg (アーム部重量を除く) とする。
- ⑤ 段差等の障害物走行に耐えうる耐久性を有する。
- ⑥ クレーン等で吊り上げるための吊り箇所を、4箇所以上設ける。
- (3) 電源部の設計仕様
 - ① バッテリは、工具不要又はプラスドライバ等汎用工具で交換可能とする。
 - ② 稼働時間は、以下のとおりとする。

ア 待機時 : 4時間程度 (無線通信及びカメラ等機器の稼働時)

イ 連続走行時 : 2時間程度(平地走行時)

- (4) 制御・操作部の設計仕様
 - ①-1 ロボット本体の制御(遠隔にてロボット本体の操作及び付属カメラの操作等)及びロボット本体と通信する機器を搭載する。通信の対象項目は、以下のとおりとする。
 - ア ロボット本体の操作に係るデータ
 - イ カメラによるリアルタイム取得映像データ
 - ウ 傾斜状態 (メインクローラの傾斜状態及びフリッパ (サブクローラ) の角度)
 - エ 駆動可能時間(電池残量)データ
 - ①-2 通信方式は、以下のとおりとする。
 - ア 無線 LAN 通信及び有線 LAN 通信で、切替可能とする。
 - イ 無線規格 : IEEE802.11a/b/g/n/ac
 - ウ 有線ケーブル : ツイストペアケーブル、長さ50m(カテゴリー6ケーブル以上)
 - ② ゲームパッド (コントローラ: Xbox® Controller for Windows®相当品) により、ロボット本体の移動速度等を制御できる。

ゲームパッド (コントローラ) へ各機能を割り当てた設定は、再起動時も保存され、かつ随時変更できる。

- ③-1 操作画面表示項目は、以下のとおりとする。すべて非常停止中においても継続して表示する。
 - ア カメラ映像
 - イ 本体の傾斜角度
 - ウ フリッパ (サブクローラ) の角度
 - エ バッテリの電圧 (残量)
 - 才 無線 LAN 電界強度
 - カ 非常停止ボタンの状態
- ③-2 Microsoft 社製 Surface®Book2 相当品のコンピューター及び USB フラッシュメモリ 128GB 以上(USB3.0 規格以上)を備える。
- ④ 非常停止ボタンを設置し、必要時にアーム部の動作及び走行部の走行を即座に停止できる。また非常停止解除操作により、即座に各動作及び走行を可能にできる。
- (5) ユーティリテイの設計仕様
 - ① 構成部品は、以下のとおりとする。
 - ア カメラ (ロボット本体を、遠隔操作できる。)
 - イ 傾斜計(ロボットの傾きを、リアルタイムで確認できる。)
 - ウ 電池電圧計 (バッテリ残量情報を、リアルタイムで取得できる。)
 - エ 電界強度計 (無線通信電波強度を、リアルタイムで測定できる。)
 - オ 温度計(外気温度を、リアルタイムで測定できる。)
 - カ LED 照明(暗所でロボット本体を遠隔で安全に操作できる輝度、前後2個以上)
 - キ 距離計 (障害物及び走行部の距離を、リアルタイムで測定できる。)

② ロボット本体(制御ボックスを除く)は、防塵・防水保護等級 IP64 以上とする。 また、長時間の使用に耐える。

(6) その他設計仕様

① フェイルセーフ

操作時に無線通信が不能となった場合、即座にアーム部の動作及び走行部の走行を停止する設計とする。無線通信が回復した場合、即座にすべての動作が可能となる設計とする。

② 拡張機能

ロボット本体外部に、汎用 LAN コネクタ (防水仕様) を設置する。

③ メンテナンス性

原則として特殊工具不要でメンテナンスできる。

特に、クローラベルト及びバッテリについては、極力簡易な手順で交換可能とする。 設計条件に基づき作成した手動弁開閉用ロボットのイメージ図を、Figure 3.1 に示す。

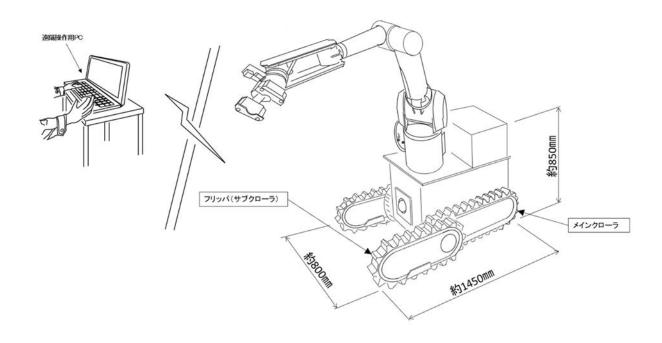
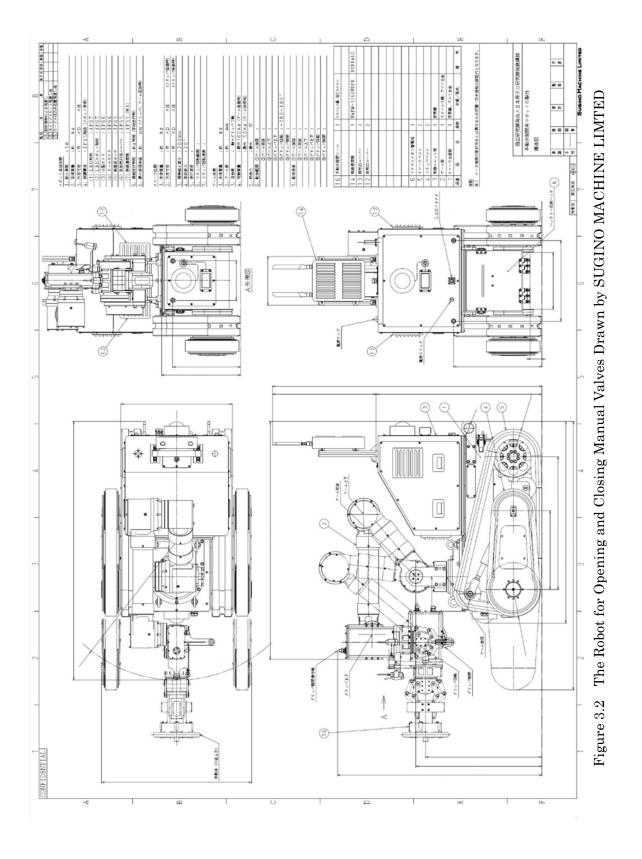


Figure 3.1 An Image of a Robot for Opening and Closing Manual Valves with a Faraway PC for Controlling the Robot

3.3 試験検査

3.2 設計仕様に基づき、5 軸の可動関節軸を有する手動弁開閉用ロボットを製作した。当該ロボットの外観図を Figure 3.2 に示す。なお当該図では公開可能範囲のみ示している。



手動弁開閉用ロボットの試験検査を、試験検査要領書に従って実施し、3.2 設計仕様を満足することを確認した。

通常の機器に対する外観検査、寸法検査等のほか、アーム部の動作確認、走行部の動作確認 (堰乗り越え含む)、電源部の連続運転時間及びバッテリ交換、制御・操作部の操作及び表示画面、ユーティリテイの員数、並びに総合的な性能として手動弁 (口径 4B) の開閉操作及びグレーチングの把持・持ち上げ操作を、それぞれ確認した。

3.4 遠隔操作できる内容(主要事項)

手動弁開閉用ロボットは、ロボット本体にパーソナルコンピューター(以下「PC」という。)を搭載し、制御・操作部の遠隔操作用 PC と無線 LAN 通信又は有線 LAN 通信(切替可能)により接続し、遠隔操作用 PC において遠隔操作できるものである。

遠隔操作できる主要な事項を Table 3.1 に示す。

Table 3.1 Remote Controllable Items(Main Items)of the Robot for Opening and Closing Manual Valves

Item	Specification
Communication	Wireless / Wired
Operation Part	Arm / Crawler
Operation Mode	Stand-by / Running
LED Lighting System	On / Off
Arm Moving Speed	High / Middle / Low (Selectable)
Arm Turn	Right / Left
Arm Extension	Foreword / Backward
Arm Elevation	Up / Down
Gripper Turn	Right / Left
Gripper Operation	Open / Close
Cameras	Monitoring Camera Selection
Photos	Still Image Recording
Video	Monitoring Camera Image Recording
Emergency Stop	Stop / Restart
Alarm Release	Releasing Alarms
Crawler Direction	Foreword / Backward
Crawler Speed	High / Middle / Low (Selectable)
Flipper Angle	Foreword / Backward
Flipper Speed	High / Middle / Low (Selectable)
Supersonic Sensor	Alarm Distance Setting

手動弁開閉用ロボットの外観写真を Figure 3.4.1 に、遠隔操作用 PC の外観写真を Figure 3.4.2 に示す。



Figure 3.4.1 The Robot for Opening and Closing Manual Valves



Figure 3.4.2 The PC for Controlling the Robot for Opening and Closing Manual Valves

4 まとめ

平成30年度に原子力災害対応用マニュプレータ(扉開閉用)を2式及び翌令和元年度に作業 用ロボットのうち手動弁開閉用ロボットを1式の設計及び製作をそれぞれ行った。

原子力災害対応用マニュプレータ(扉開閉用)を台車に搭載した場合、作業用ロボットのうちの扉開閉用ロボットとなり、扉の取手(丸ノブ又はレバーノブ)を回転又は把持でき、扉を開放できる。

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。

参考文献

- [1] 楢葉遠隔技術開発センター 2017 年度 楢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.
- [3] 一般社団法人日本機械学会, ロボティクス, 2011, pp.62-65.

謝辞

運用課で行った原子力災害対応用マニュプレータ(扉開閉用)及び手動弁開閉用ロボットの点検を行っている請負業者の株式会社アセンドの通野和人氏、志賀辰也氏、猪狩聡治氏におかれましては、NARRECの試験棟での本作業における助言をいただき御礼を申し上げます。

付 録

動作用搭載電池容量増加によるロボットアームの作業時間延長化作業の概要

2章で述べた 2式の原子力災害対応用マニュプレータ(扉開閉用)について、1回の作業可能時間を延長するため、動作用搭載電池容量を 2 倍にする(バッテリ 2 式搭載による)改造作業を行った。ここでは、当該作業について概要を報告する。

1. 作業内容

- ① リチウムポリマー電池(Youme 製 6s-22.2V-25C-50C)2式(並列回路による)を収納する バッテリボックスを設計製作し、原子力災害対応用マニュプレータ(扉開閉用)に搭載し、 当該マニュプレータを駆動できるようにする。
- ② ダイオードを組み込んだ逆流防止回路を設計製作し、①の電池の正極側に取り付ける。
- ③ 操作用 PC 画面に、①の電池の電圧及び残存容量(%)を表示できるようにする。

2. 作業結果

マニュプレータへの作業に関して動作等の確認を行い、ともに作業結果が良好であることを確認した。

作業内容の①の説明図を Figure A に、作業後の外観写真を Figure B に示す。

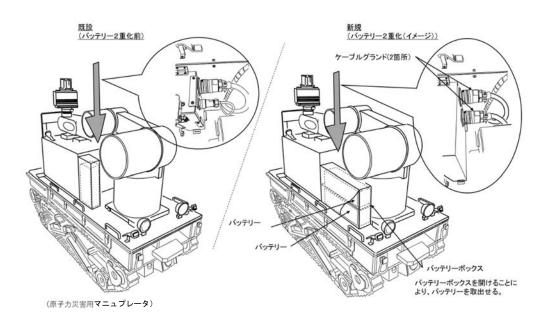


Figure A An Image of Converting Single Battery into Double Battery on the Robot



Figure B $\,\,$ The Double Battery on the Robot

国際単位系(SI)

表 1. SI 基本単位

基本量	SI 基本i	単位
- 本半里	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
物質量	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	
和工里	名称	記号
面	責 平方メートル	m ²
体		m^3
速 さ , 速 月	まメートル毎秒	m/s
加 速 月		m/s^2
波	毎メートル	m ⁻¹
密度,質量密度	ま キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	ま キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比 体 和	責 立方メートル毎キログラム	m³/kg
電流密度	まアンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強き	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) ,濃厚	ま モル毎立方メートル	mol/m ³
質 量 濃 月	ま キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝		cd/m ²
出 切 半	b) (数字の) 1	1
比透磁率(^{b)} (数字の) 1	1

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

	回作の名称と記り	7 (1)(0			
	SI 組立単位				
組立量	名称	記号	他のSI単位による	SI基本単位による	
	10 M	記り	表し方	表し方	
平 面 角	ラジアン ^(b)	rad	1 (p)	m/m	
立 体 角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 (b)	m^2/m^2	
周 波 数	(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	С		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	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$	
	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²	
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$	
磁束	ウエーバ	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	Н	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²	
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	$^{\circ}\!\mathbb{C}$		K	
光	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd	
	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,	グレイ	G	T/l	$m^2 s^{-2}$	
カーマ	2 24	Gy	J/kg	m s	
線量当量,周辺線量当量,	. (-)	_	7.0	9 -9	
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	
	カタール	kat		s ⁻¹ mol	
Continued to the second of the					

- 酸素活性|カタール kat simple

 (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、患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)へルソは周朝現象についてのみ、ペ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。(d)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、温度差や温度開局を表す数値はども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動告2(CI-2002)を参照。

表 4 単位の中に因有の名称と記号を含むSI組立単位の例

表 4. 単位 Ø)中に固有の名称と記号を含		立の例
	S.	I 組立単位	
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表 面 張 力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角 加 速 度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱流密度,放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量,エントロピー		J/K	$m^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
熱 伝 導 率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² 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	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg⁻¹ s A
吸 収 線 量 率	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射 強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m4 m-2 kg s-3=m2 kg s-3
放 射 輝 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
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m³	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	₹ <i>リ</i>	m	
10^{15}	ペタ	Р	10 ⁻⁶	マイクロ	μ	
10^{12}	テラ	Т	10 ⁻⁹	ナーノ	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}	丰 口	k	10 ⁻¹⁸	アト	a	
0			-01	18		

10-24 ヨクト

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			
目	d	1 d=24 h=86 400 s			
度	0	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			

da

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		
		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		
バーン	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 ¬	CI単位しの粉は的な関係は		
ベル	В	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。		
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 =0.1Pa 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 ォ ト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx		
ガル	Gal	1 Gal =1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²		
マクスウエル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$		
ガ ウ ス	G	1 G =1Mx 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「 △ 」 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			
+	ユ		リ	ſ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq			
ν	ン	卜	ゲ	ン	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$			
ラ				K	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy			
ν				ム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv			
ガ		ン		7	γ	$1 \gamma = 1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{T}$			
フ	æ.		ル	131		1フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m			
メートル系カラット				ット		1 メートル系カラット= 0.2 g = 2×10 ⁻⁴ kg			
卜				ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa			
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa			
力	П		IJ	ſ	cal	1 cal=4.1858J(「15℃」カロリー),4.1868J (「IT」カロリー),4.184J(「熱化学」カロリー)			
3	ク		口	ン	μ	1 μ =1μm=10 ⁻⁶ m			