NEDO
特別講座

災害対応ロボット運用システム

2013年2月27日

日本原子力研究開発機構
福島技術本部　復旧技術部
川妻伸二

NEDO特別講座の内容

1. 1F事故対応でのある出来事

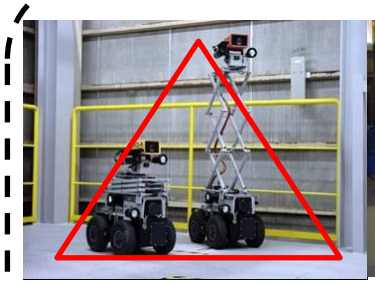
2. ChNPPを訪問してみて

3. 災害対応ロボット運用のシステム(一試案）

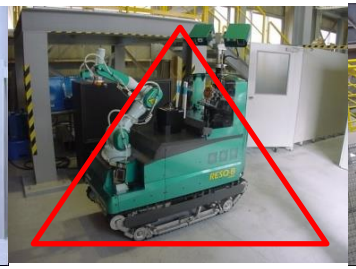
原子力災害ロボットも開発されていた

モニロボA、B

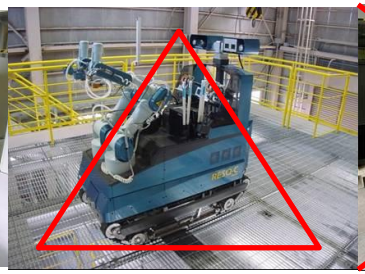
原子力安全技術センタ



初期情報収集ロボット
RESQ-A



詳細情報収集ロボット
RESQ-B



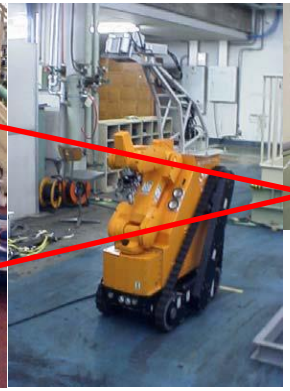
サンプリング収集ロボット
RESQ-C

耐放射線性ロボット
RaBOT

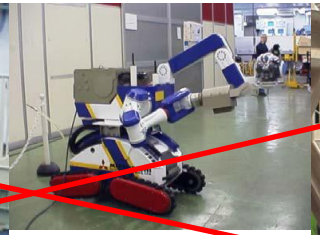
日本原子力研究所（現、日本原子力研究開発機構）

作業支援ロボット
SMERT-K

作業支援ロボット
SMERT-M



軽作業ロボット
SWAN



作業ロボット
MARS-A

重量物運搬ロボット
MARS-T

耐放射線性ロボット
MENHIR

製造科学技術センタ

旧原研のRESQ-A, B, Cは不可動状態で、RaBOTと製造科学技術センタのは廃棄されていた。

１．1F事故でのある出来事

モニロボA

- モニロボAが六ケ所村からJ-Villageに移動待機。
- 現場は既に仮設のケーブルやホースが多数敷設されており、モニロボAがこれらを損傷させ、原子炉の安定や冷却への支障を懸念し、投入を断念。
- ならば、、、、、、だけど。。。。。。

放射線量、危険な場所はロボットで測定　文科省が貸与

朝日新聞　2011年3月16日22時47分

（前略）今後、放射能汚染が激しい場所を調査する必要も生じるため、文部科学省は、人が近づけない危険な場所のガンマ線などの放射線量を測定できる無線操縦で動く防災モニタリングロボットを東京電力に貸し出した。

財団法人原子力安全技術センター（東京都）が所有するロボットで、同センターは「防災訓練などに参加したことはあるが、現場で実際に利用するのは初めてと思う」と話している。

このロボットは高さ150センチ、長さ150センチ、幅80センチ、重さ約600キロ。小型戦車のような形をしている。無限軌道によって、最大毎分40メートルの速さで移動できる。前方にマジックハンドが付いており、それで積んでいる無線中継基地を途中で下ろしながら前に進むことで、約1．1キロ離れたところから無線操縦ができるという。

同センターは、もう1台モニタリングロボットを所有している。ガンマ線に加え、中性子線の測定や空中に漂っているちりを捕まえることもでき、「こちらのロボットも近く出動させる予定」と話している。

同省ではこのほか、ヘリコプターなどを使って空からの測定も行うよう防衛省と調整している。

１．1F事故でのある出来事

どうして維持管理されなかったのか？

(旧日本原子力研究所の場合)

- ロボット開発（製作）後の維持管理体制や予算措置が曖昧なまま開発を開始していた。

- H14, 15の評価委員会で、改善等の指摘を受けていたにもかかわらず、改善のみならず維持管理の予算も無く、H16年以降は放置状態であった。

10億円原発ロボ不動

5台中4台 廃棄・故障

原子力機構「保管予算つかず」

福島第一原発事故で、旧特殊法人・日本原子力研究開発機構（現日本原子力研究開発機構）が、二〇〇一年に完成させた原子力防災ロボット四機種五台が廃棄されたり、保守管理をせずに放置、動かなくなったりしていたことが分かった。旧科学技術庁（現文部科学省）の予算約十億円で開発されたが、その後、保守管理の予算が付かなかったためという。

一九九九年に茨城県東海村の核燃料加工会社「ジェー・シー・オー（JCO）」で起きた臨界事故の処理で数千人が被ばくしたことを受け、国は、原発事故の際に放射線量や映像などの情報収集と、事故処理をするロボット開発を本格化させた。

原研は国の九九年度補正予算で四機種五台を開発。内訳は❶初期情報収集用RESQ－T」として、その四機A二台❷詳細情報収集用RESQ－B一台❸汚染された気体や液体を採取する試料等収集用RESQ－C一台❹二本のアームや無限軌道走行能力、十万ｲまで放射線に耐える性能を誇ったRaBOT一三台は動かず、一台だけはかろうじて動かせる状態のため改造して出動待機中と説明。

「二〇〇〇年度以降は国の予算が一切付かず（原研の経費で）消耗品をほそぼそと購入していたが、〇三年以降はメンテナンスができなくなり、さびが浮かぶなど老朽化が進んだ」（製造課）という。

同課は「組織が替わり、資料が残っていないので、なぜ国から保守管理の予算が付かなかったか分からない。開発した研究者は無念だったのではないか」と話している。

線耐性型RaBOT一台＝写真（いずれも文科省原子力安全課原子力防災ネットワークのHPから）。

開発費はRESQ四台が計約六億円、RaBOTが約四億円だった。文科省原子力安全課原子力防災ネットワークのホームページは十六日現在も「現在、開発しているロボット」として、その四機種を紹介している。

ところが、機構は西日本新聞の取材に、重さ十五㌧の物を運べる二本のアームや無限軌道走行能力、十万ｲまでの放射線に耐える性能を誇ったRaBOTを昨年九月に廃棄したと回答した。

倉庫に眠ったままだったRESQ四台は福島第一原発事故後、状態を確認したところ、

2011.5.17付け東京新聞

１．1F事故でのある出来事

ロボットが直せない

- ロボット修理を製造メーカーに依頼したが、
  - ✓ 当時の技術者もいない。
  - ✓ 海外製部品を使用していて調達に時間がかかる。
  - ✓ 米国からロボットが来るそうだからもう良いんじゃないですか。

- JAEAで修理を試みたが、
  - ✓ 電池交換もできない筐体構造。
  - ✓ フランス製部品はブラックボックス。
    ⇒製造メーカも丸投げだった？

- その他
  - ✓ 試験用にBROKK40も保有しており可動状態だったが建屋が損傷していて作業できない。

RESQ-A

RESQ-B

RESQ-C

BROKK-40（試験用）

1．1F事故でのある出来事

ロボットを大幅に改造しよう！

BROKK-40（試験用）

RESQ-A

JAEA−1号

JAEA−2号

JAEA-3号

✓JAEA施設（茨城県内）も被災していて、作業場所がない。原子力緊急時支援研修センター(NEAT)の車庫を間借りして改造開始。NEATの情報や帰還者の情報や参考になった。

✓JAEAにも経験者が殆ど残っていない。
⇒定年退職者が応援。

✓機能限定。代替部品が見つからない。
⇒澤村電機が代替ドライバーを提供。

✓長納期部品が手に入らない。
⇒原子燃料工業が手持部品で耐放性カメラを組立て提供！

感謝

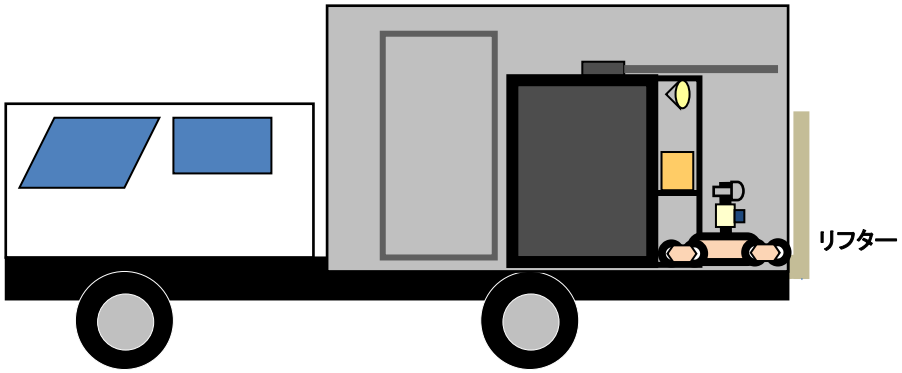
RC-1

１．1F事故でのある出来事

TALONが提供されたけど

- ✓ 4/14にDOE-INLの放射線マッピング装置付TALONが供与され、産総研（つくば）で東電本店職員に対して訓練を実施。
- ✓ 現場状況
  - 原子炉建屋裏に入ってしまうと無線が届くかわからず、オペレータはロボットにある程度は近づかなければならない。
  - 原子炉建屋近辺で数10mSv/h（Max130mSv/h)あり、長時間作業は不可。
- ✓ 東電とJAEAとでTALONとRC-1を組合せたシステムを提案。

http://www.tepco.co.jp/en/news/110311/images/110429_1f_10.jpg



ロボットコントロール車

（偵察ロボット＆遮蔽オペレーションBOX 搭載）

１．１F事故でのある出来事

TALONを使うために

- ✓ TARONをJAEA原子力緊急時支援研修センターに4/15に搬送し、遮へい操作BOXとともに、ロボットコントロール車搭載・整備。併せてγカメラ、監視カメラ、テレテクタを装備。
- ✓ ロボット操作車をいわきに搬送し、福島第一保安班への操作訓練（4/22）を行い、遮へいBOX、ロボットアンテナなどの改良を実施（～28)
- ✓ 再度ロボットコントロール車をいわきに搬送し、操作訓練を実施（29）。
- ✓ γカメラ用架台を茨城で製作し、いわきでロボットコントロール車に搭載(30)。 福島第一に投入(5/1）。

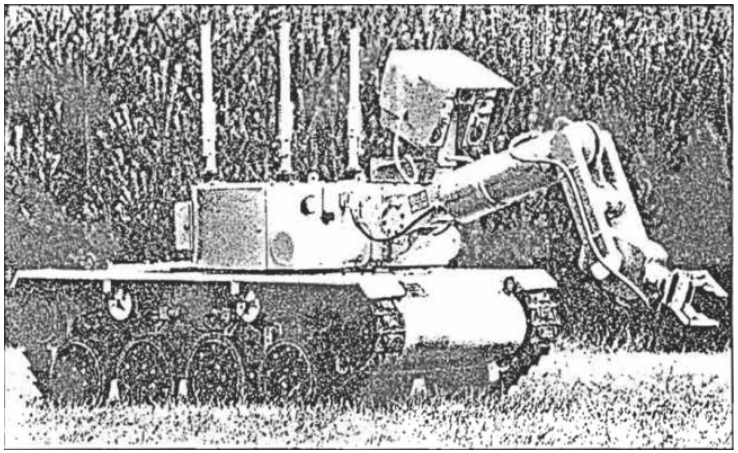
- ✓ 警戒区域に入るに際し、誰（東電、JAEA）の指示で1Fに入るのか、1Fサイト内では誰の指示に従えばよいのか、万が一の場合の責任はどれが取るのか不明であった。議論する時間もなく、そのまま1Fに行った。放射線管理は誰が行うのか？
- ✓ 重量物を搭載したため、運転しにくかった。

２．ChNPP訪問してみて

ドイツが提供したロボット

現役のMF3(2013/2/20)

モグラ（MF3？）の残骸(2013/2/20)



MF2（http://medusa.sdsu.edu/Robotics/CS556/Lectures/Introduction.pdf）

- 「多くの国々からロボットが提供され、50台以上のロボットが使用（試用）された。（Seyda副所長）」
- 「ドイツが提供したMF-3は地下階の偵察に使用された。ドイツが提供したMF-2は機械室（タービン建屋）屋上で使用された。バッテリーチャージの際、ケーブルが長すぎて電圧降下が大きく再充電できなかった。充電設備を別途準備して再充電したときには、放射線により、電子部品は損傷をして使えなかった。ドイツは、他にもBacket Loaderもモスクワに送ったがChNPPには届かなかった。理由は不明。（KHG　Gustmann　技術部長）」

２. ChNPPを訪問してみて

STR-1とKLIN

STR-1

STR-1の残骸？(2013/2/18)

KLIN（横小路教授提供）

- STR-1（月面探査ロボットをベースに開発）は爆発で建屋外や建屋屋上に飛散した高放射線量の黒鉛等を撤去するために使われた。高放射線下で使用したため、多くのロボットがダメージを受けた。
- KLIN（戦車を改造したもの）は飛散した黒鉛撤去の他、汚染された表土の剥離作業にも用いられた。
- 有線ロボットはケーブルが絡んだりするので、大変だった。進入路をどう確保するかとケーブルがロボットを使っていくうえでの課題。
- 福島原発事故では、「瓦礫が多数ある中、どういう使い方をしたか?」

２．ChNPPを訪問してみて

石棺建設に使われたロボット等

- Putsmeisterはコンクリートポンプ車であるが、運転席を鉛で遮蔽して作業員が運転席から操作した。遠隔操作はしていない。
- 重機を無人化したものを（破壊された）建屋内に大型クレーンでつり込み、構造物の解体、分別、収納等を行った。500m以内の場所から映像を見ながら遠隔操作した。

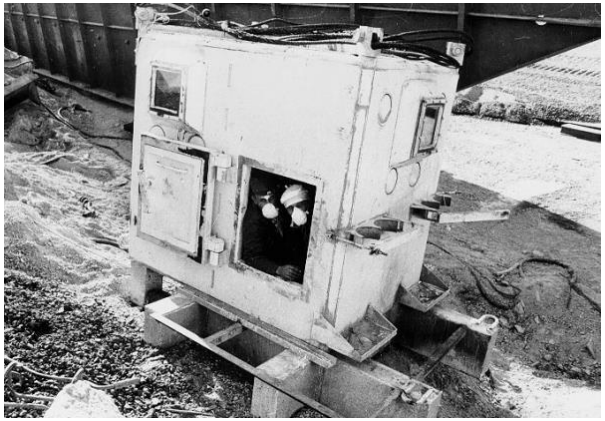
石棺建設工事（横小路教授提供）

Putsmeister（横小路教授提供）

２．ChNPPを訪問してみて

遮へいBOX

- 遮蔽操作BOXは、作業員を屋上に運ぶためというよりは、作業員がロボットを操作する際に用いられ、有効だった。
- ロボット操作やメンテナンスのために操作員が、汚染されたロボットで被ばくすることも考慮すべきで、使うべきところにロボットを使うべき。



Shielding Box

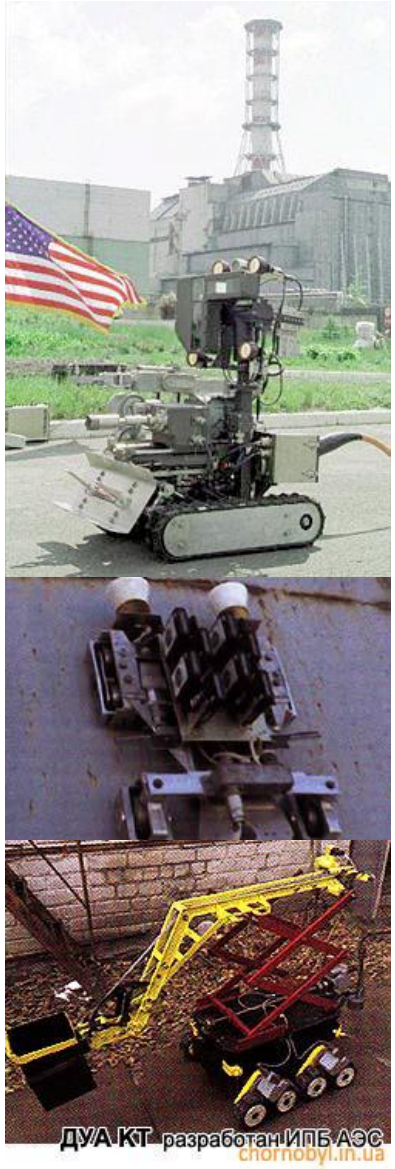
Robot Cemetry
（Cécile Javelle 女史提供)

ChNPP-4（2013/2/18)

２．ChNPPを訪問してみて

PIONEER等

- Pioneerは建屋内のモニタリングやサンプル採取のために米国CMUなどで開発したものであるが、重心が高くてレンガ1個を乗り越えるのも不安定だった。また、ケーブルが短く操作員が近くに行かねばならなかった。そのため瓦礫が多く残る建屋内で使用されることはなかった。RadScanというモニタリング装置を装備しており、サイト外の線量測定に使った。線量が下がってきていることが確認できた。
- Magintoholdは(コールド)で実験は行ったが実際には使っていない。
- CTは平面では良いが（瓦礫等が残る場所では）安定性に問題があり使用していない。信頼性があり、産業的に使えるものでないとだめだ。



２．ChNPPを訪問してみて

現在のChNPP廃棄物処理用ロボット

- 「安定性、信頼性があるBROKKである。ただBROKKも汎用品ではなく、除染対策などの改造をしたものを使っている（Seyda副所長およびPlejades社Molitor社長）。」
- 「BROKKのバックアップ用にTOPTEKロボット2台を保有している同ロボットはBROKKよりも頑丈かつパワフル（TOPTEK社Dorfler社長）。」

ICSRM取出ケソンのBROKK180(2013/2/18)

ICSRM分別セルのBROKK330(2013/2/18)

３．災害対応ロボット運用のシステム(一試案)

システム化

- 災害対応ロボットは進化しつつあるが万能ではなく、今すぐできる解決策（ソリューション）を提案。
- 現場状況は様々、刻一刻と変わり、予め全てに対応するのは（大型化、重量化）非現実的。
- 短時間で最適化し投入することが重要。

ロボット

プラットフォーム　ツール

ロボットを現場状況に合わせて最適化することが重要。短時間で最適化するために、複数の移動体と治工具を用意しておき組合せる、Platform and Tool (P&T)が重要

簡易工作機械・交換部品
（特注複合ケーブル、水密コネクタ）

（簡易な修理や改造は自ら行える）

- 遮へい操作BOX
  (緊急時ロボット操作では操作員もロボットの近くに行くことを考慮する)
- 放射線計測機、
- 監視カメラ
- 非常用発電機
- 放射線防護具
- ロボット用除染装置
- 等

有線(強化ｹｰﾌﾞﾙ・ﾘｰﾙ)か無線(ﾛｰﾐﾝｸﾞ中継器)通信

原子炉建屋内は無線通信が届きにくく、かつまた障害物も多い

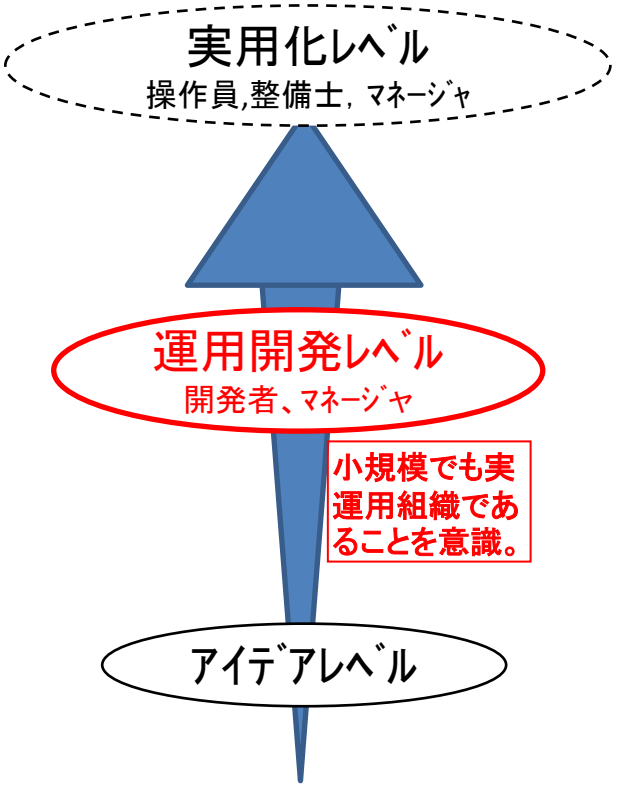
ロボット操作車等に収納搭載

３．災害対応ロボット運用のシステム(一試案)

運用制度

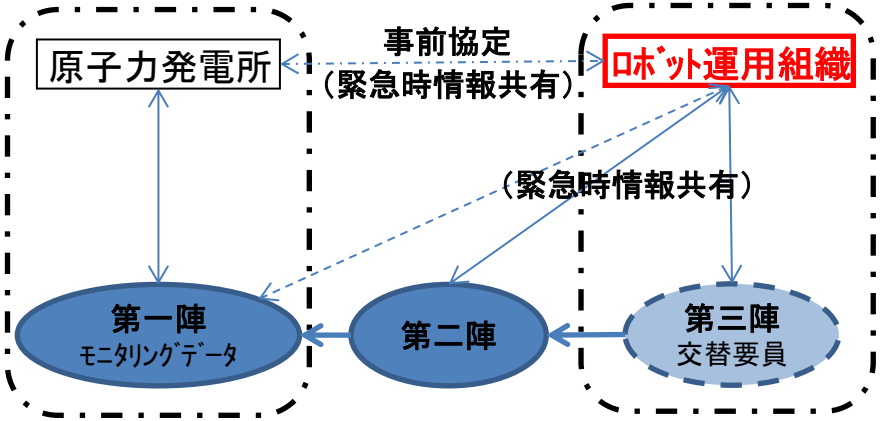
小規模な運用組織を立上げ、(モックアップ試験や実動訓練を通じた)運用開発。

操作・整備・改良を一体化し運用開発



運用制度(基本案)

- 運用組織は原子力発電所と事前協定を締結する。
- 24H出動体制
- 要請に応じて運用組織は第一陣、第二陣等を派遣する。
- 緊急対応時は原則として発災発電所の指揮下で行動を行う。
- 派遣隊と原子力発電所と運用組織間でﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞﾃﾞｰﾀ等情報を共有。
- 撤退等の重大意思決定はロボット運用組織が行う。



3. 災害対応ロボット運用のシステム(一試案)

まとめ

災害対応ロボットの運用システム

ロボット

システム化

運用制度

- ロボット機能)
- ガンマ線可視化装置
- 監視(俯瞰)カメラ

- 様々かつ変化する事故現場状況への最適化機能
  (簡易工作機械、ﾌﾟﾗｯﾄﾌｫｰﾑ＆ﾂｰﾙ)

- 遮蔽操作BOX
- ロボット操作車

発災時

- 24H出動体制(ロジスティクス重視)
- 事態即応センター等と情報共有情報共有体制
- 等

平常時

- ﾓｯｸｱｯﾌﾟ試験、実動訓練
- 操作技量向上、技量認定制度
- システム改良、制度整備

} 一体化体制