

機器人 在核電廠運維作業和除役作業的應用 與設計

陳勝朗



<http://www.nusta.org.tw>

財團法人 核能科技協進會

Nuclear Science & Technology Association (NuSTA)

2018.10

簡歷……陳勝朗



現職：核能科技協進會 首席顧問 (2008.7-迄今)
上海英致商務諮詢公司 核能首席顧問 (2018.1-)

職務經歷：原子能委員會核能研究所簡任研究員兼主任秘書、
所務發展諮議委員會執行秘書、核能安全委員會
執行秘書、化工組組長、主任工程師、助理研究員 (1967.1-2008.7)

榮譽：中國工程師學會 十大傑出工程師獎 (1998年)

學歷：美國田納西大學化工碩士 / 中正理工學院化工學士 (1970.6) / (1967.1)

經歷：1. 先後參與數項製制程及相關單元設備之開發，並參與其試驗工廠、先導
工廠及生產工廠的設計、安裝建造、試車等督導工作 (1970.6-1982)

2. 大學化工系兼任講師講授「程序設計」課程 (1973-1978)

3. 化學工程學會邀請在北、中、南部講授
「建廠工程基本設計方法」課程 (2000/2001)

4. 南非原子能委員會邀請講授「核反應器設施基本設計方法」課程(1987)

5. 原子能委員會「核能四廠環境影響評估」技術評審委員 (1983)

6. 清華大學工科系講授「放射性廢物管理」短期課程 (2004)

7. 大陸寧德、石島灣、海陽核電廠講授「操作員安全文化」
研習課程 (2010/2011/2012)

8. 核能科技協進會講授「放射性廢物管理」、
「核能電廠除役技術」研習課五班次 (2013/2014)

專業訓練：1. 清華大學原子科學研究所研習課「放射化學」一學期 (1967)

2. 德國卡斯魯爾核能中心「用過核子燃料再處理技術」研習半年 (1972)

3. 美國MPR公司「設計審查方法論」研習課三個月 (1985)

出版書籍：【建廠工程基本設計方法概論】、【核電廠除役策略與技能自主化(講義)】
【核能工程技術導論(與楊昭義博士、尹學禮先生共編)】

電郵：johnslchen@yahoo.com.tw

(內容綱要)

一. 前言 (機器人應用需求特性與市場發展趨勢).....	5
二. 核電廠反應器廠房設施輻射劑量範圍與作業人員安全限值...	14
三. 機器人的主要系統裝置組成.....	22
四. 機器人在核電廠 運維作業 應用類別與範例.....	30
1. 機器人在運維作業應用類別.....	31
2. 檢查作業應用範例.....	32
3. 除污作業應用範例.....	49
4. 放射性物質的遠端檢查作業.....	53
5. 緊急應變作業應用範例.....	54
五. 機器人在核電廠 除役作業 應用類別與範例.....	56
1. 機器人在除役作業應用類別.....	56
2. 輻射污染調查量測作業應用範例.....	68
3. 除污作業應用範例.....	71
4. 拆除切割作業應用範例.....	75
5. 核廢料量測作業應用範例.....	87

六. 機器人的使用、操作及維護考量.....	88
1. 機器人的使用考量.....	89
2. 機器人危害預防標準.....	90
3. 維護考量.....	92
七. 機器人的選擇考量.....	93
八. 機器人的設計.....	94
(一). 設計和測試規範標準.....	95
(二). 耐輻射方面.....	96
1. 耐輻射電氣絕緣電線電纜材料.....	97
2. 耐輻射相機鏡頭.....	100
3. 核能級控制器中的高抗輻射電路設計.....	107
4. 耐輻射潤滑油.....	109
(三). 運作系統裝置功能方面.....	111
1. 功能操作系統裝置.....	111
2. 載運系統裝置.....	111
3. 操作機具控制模式.....	113
4. 急應變用輻射偵測裝置.....	114
結語與建議.....	118
附錄-兩岸工業機器人廠商資訊	120

一. 前言

- 機器人在核電廠應用的**主要功能**
- 機器人應用**需求特性**
- 國內外核電廠運轉和維修以及除役作業**需求現況**
- 核能用機器人在世界**市場發展趨勢**

一. 前言

核電廠的運行，在緊急情況下，特別是在條件未知時，進入具**輻射管制區域**的事故現場瞭解，急需**借重機器人**協助解決問題。

一般，由於核電廠在核反應器廠房區域內的輻射劑量很高，不便人工直接進行**運轉和維修作業**以及停止運轉後的**除役作業**，因此需要**借重機器人**協助解決問題。

機器人在核電廠應用的**主要功能**：

1. 在運轉期間

進行問題地點調查量測檢查，協助維修作業。

2. 在除役作業期間

進行設備組件結構輻射調查量測、鬆散污染區域除污作業和設備組件結構的拆除作業。

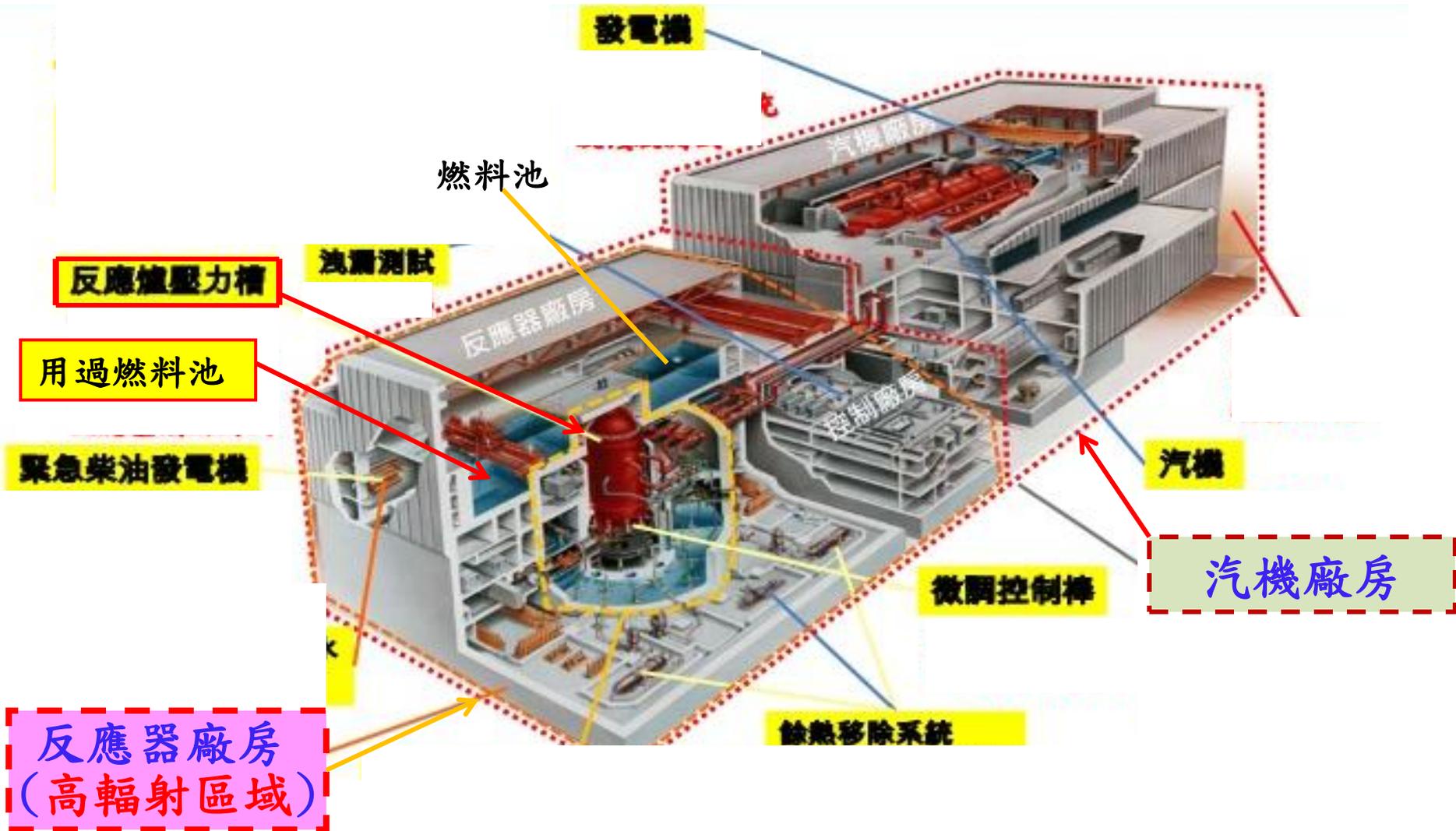
核能用機器人在核電廠運維作業主要效能

- 提高核電廠在安全設備於檢查和維修作業的安全性
- 在輻射環境地區作業保護人員免受高輻射的曝露劑量
- 經由縮短業作時間和避免人為錯誤中，提升工廠的完整性和安全性

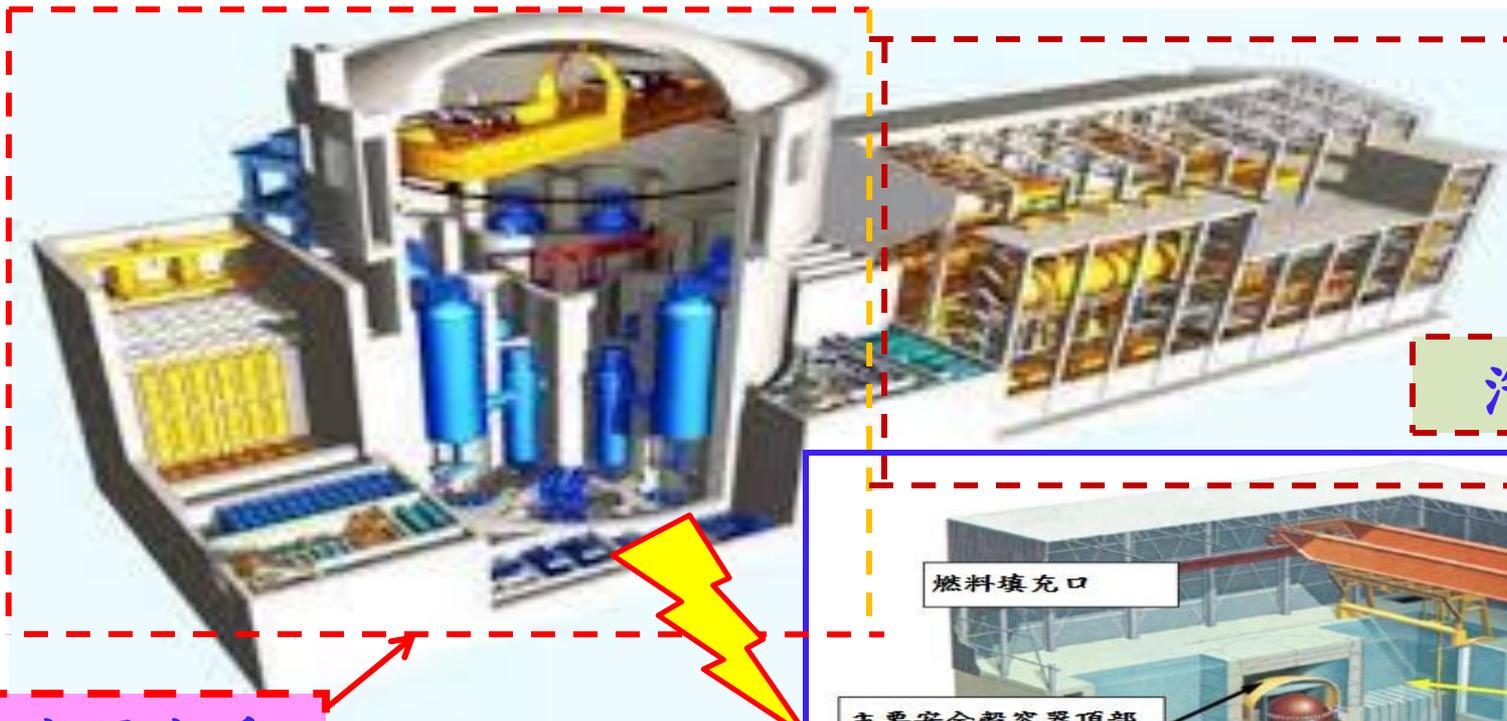
核能用機器人的使用要求特性

- 利用電線和玻璃鏡片的系統及組件要能耐高輻射性
- 機具作業空間限制
- 必須符合設施複雜需求條件
- 通常需要高載荷，中等精確度
- 通常運作需配合人員控制
- 特別安全要求議題
 - 遙控機具回收機制
 - 污染控制
- 任務、設施和操作類型需要高度可變性

壓水式核電廠(PWR)廠房剖面圖—核三廠

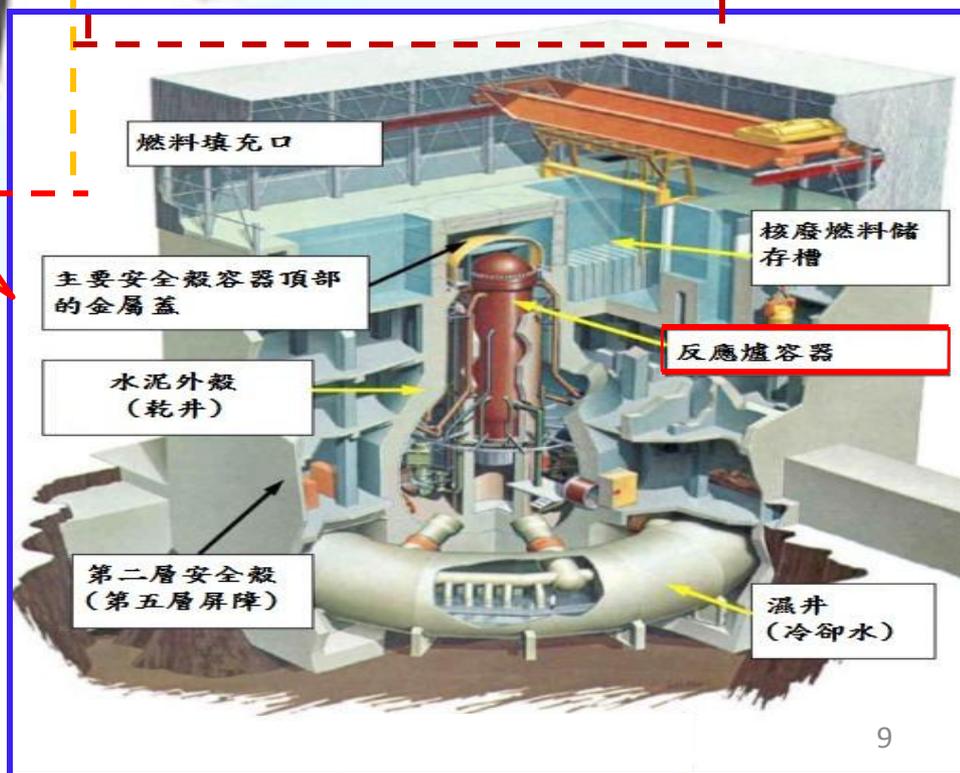


沸水式核電廠(BWR)廠房剖面圖—核一廠



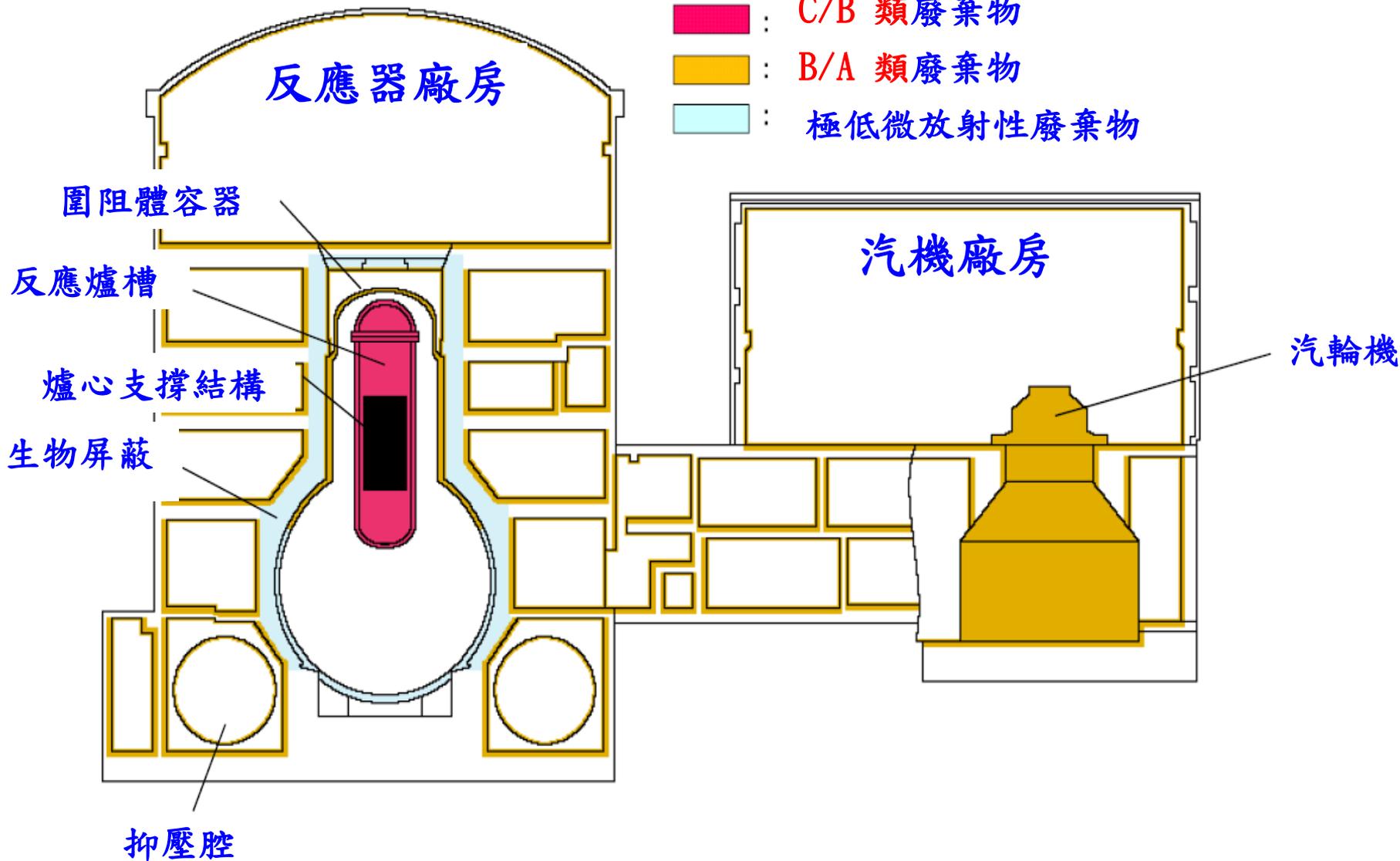
汽機廠房

反應器廠房
(高輻射區域)



核一廠廠房區域輻射特性範圍估計示意圖

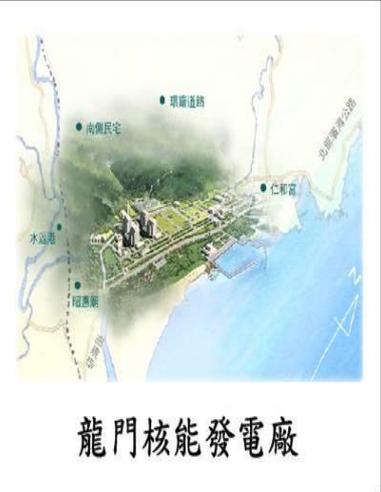
- 超C類廢棄物
- C/B 類廢棄物
- B/A 類廢棄物
- 極低微放射性廢棄物



國內/外核電廠運轉和維修以及退役作業需求現況

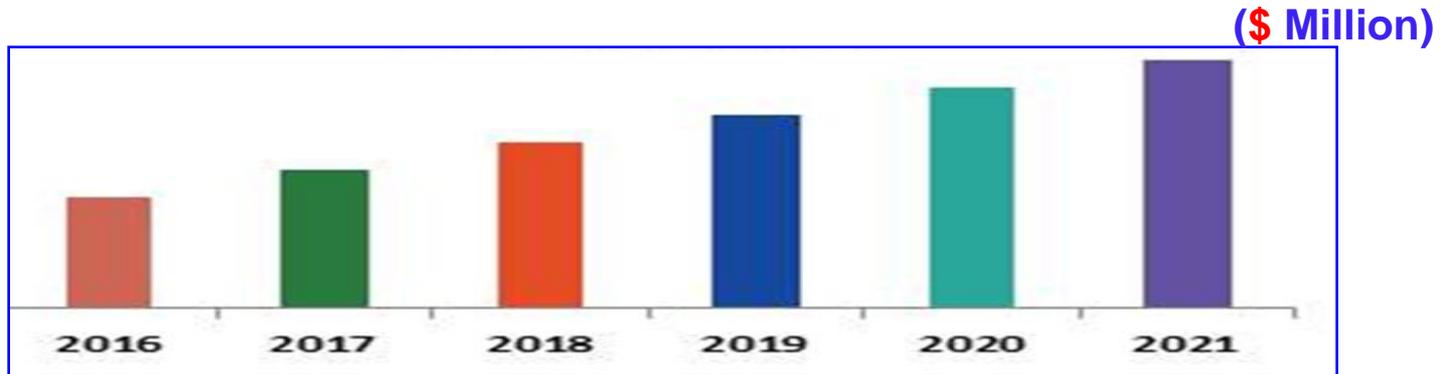
- 迄2018年底大陸運轉、建造、計畫和規劃中核電廠機組計：
運轉中—45台, 建設中—16台
配合經濟發展、造福民生和減碳排放計畫中還需要很多！
- 臺灣核一、二、三電廠機組目前的運轉許可證到期分別是：
核一1號機到2018. 12、2號機到2019. 7; 核二1號機到
2021. 12、2號機到2023. 3; 核三1號機到2024. 7、2號機
到2025. 5
- 依據國際原子能總署統計資料，截至2017年底為止，全球
核反應器運轉中有400餘座; 而停止運轉中，有30座已完成
除役、36座進行除役中.....(more)

(IAEA, Nuclear Reactors in the World, REFERENCE DATA SERIES No. 2, 2017 Edition)

								
位置	台北縣石門鄉	台北縣萬里鄉	屏東縣恆春鎮	台北縣貢寮鄉				
額定發電量(MWe)	636	985	951	1350				
<u>反應器型式</u>	奇異公司沸水式第4型	奇異公司沸水式第6型	西屋公司壓水式3迴路	奇異公司進步型沸水式				
	一號機	二號機	一號機	二號機	一號機	二號機	一號機	二號機
建廠許可日期	1971/12/15	1972/12/04	1975/08/19	1975/08/19	1978/04/01	1978/04/01	1999/03/17	1999/03/17
核定運轉日期	1978/12/06	1979/07/16	1981/12/28	1983/03/15	1984/07/27	1985/05/18		
→現有運轉期限	2018/12/05	2018/07/15	2021/12/27	2023/03/14	2024/07/26	2025/05/17		
<u>預定商轉日期</u>	2015年需提出除役計畫	2018年需提出除役計畫	2021年需提出除役計畫	2011/12	2012/12			

台灣三座核電廠需除役時程要求

核能用机器人世界市場發展趨勢 (2016-2021)



Source: Industry ARC Analysis , Expert Insights

《国务院关于深化中央财政科技计划
(专项、基金等)管理改革方案的通知》

国家重点研发计划“智能机器人”

重点专项拟立项的2017年度项目公示:

核电站机器人检修智能作业系统

---中广核研究院有限公司

/經費:1368萬元 /3年期

国家国防科工局已印发《核能开发科研
2018-2019年项目申报指南》

(三)核安全、核安保与核应急领域

重点方向4:强核辐射环境下智能机器人平台系统关键技术。

研究目标:研制耐强核辐射的具有可视化操作的探测与处置遥控智能机器人平台系统,用于强核辐射环境下辐射场探测、工程测量与施工、安全处置、应急救援等工作。

研究内容:适应强核辐射环境的智能机器人平台系统设计;强核辐射环境下智能机器人的信息与通信系统研究;机电系统抗强核辐射加固与机器人系统可靠性保障技术。

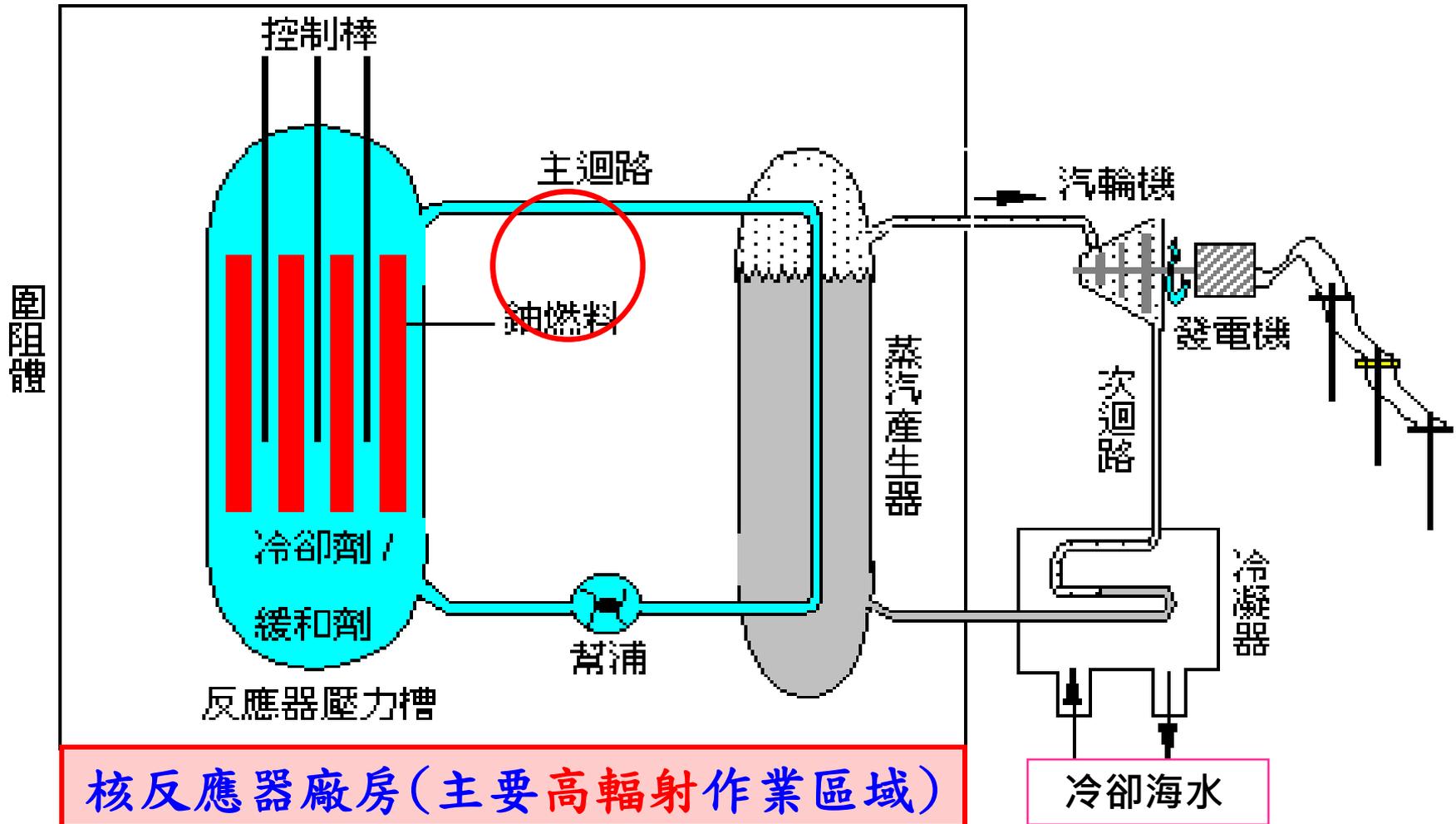
考核指标:适用环境剂量率不低于10mSv/h,机器人耐辐照剂量率大于100Gy/h,累积剂量不低于10000Gy,可靠通讯距离不低于200米,结合强核辐射环境的工作场景实现工程示范。

二. 核電廠反應器廠房設施輻射劑量範圍 與 作業人員安全限值

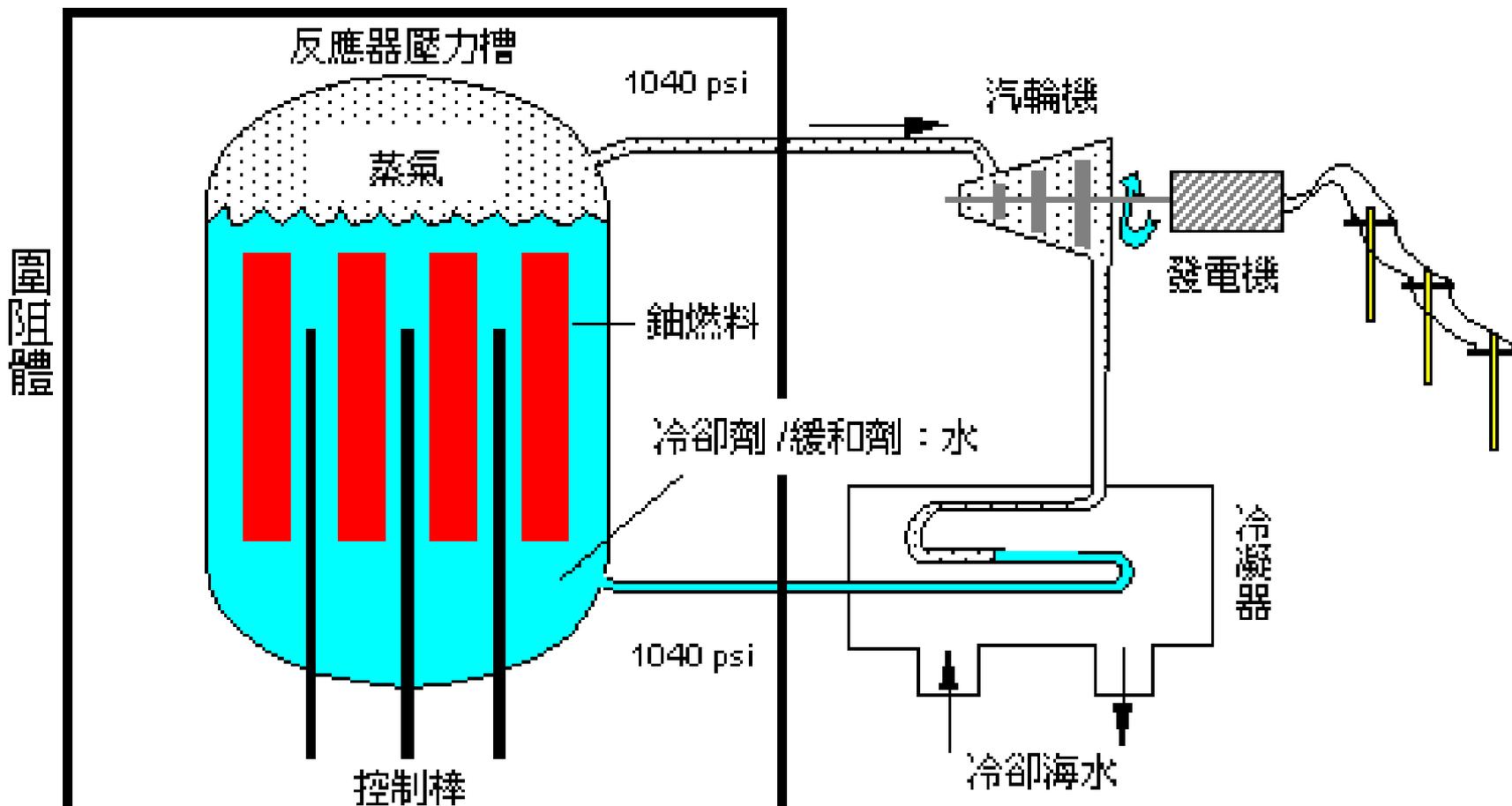
- 反應器廠房設施輻射劑量範圍
- 工作人員職業曝露之劑量安全限度標準

二. 核電廠反應器廠房設施輻射劑量範圍與作業人員安全限值

壓水式核電廠(PWR)系統圖—核三廠



沸水式核電廠(BWR)系統圖—核一、二廠



核反應器廠房(主要高輻射作業區域)

壓水式(PWR)停爐時反應器廠房 輻射劑量量測結果

1 西弗(Sv) =
100 倫目(Rem)

Measurement Point Prefix	Corresponding Elevation, m (ft)
1A - xx	13.72 (45)
2A - xx	18.59 (61)
3A - xx	23.47 (77)
4A - xx	28.35 (93) - Operating Level

Measurement Point(a)	位置	量測距離	劑量率 Rem/hr
Reactor Containment Building			
1A-01	Reactor Coolant Pump Bowl	Contact	12-30 ^(c)
1A-02	RCS Piping, cold leg	Contact	0.5-0.6
1A-03	Steam Generators	General Area	0.05-0.4
1A-04	Emergency Personnel Lock	Inside Lock Area	0.001-0.012
1A-05	Floor Drains	Contact	0.1-0.6
1A-22	Pressurizer Area	General Area	≤0.2
2A-02	Regenerative Heat Exchanger (Hx)	Contact	1-15
2A-04	Between Steam Generator (SG) Enclosure and Containment Vessel (CV) wall	General Area	≤0.025
2A-07	Between RCS Pumps and SG's	General Area	0.1-0.9
3A-01	Between Upper Internals Storage and CV Wall	General Area	0.02-0.1
3A-05	Near CV Wall	General Area	0.005-0.02
4A-01	Reactor Cavity, Inside Edge	General Area	0.1-1
4A-03	Steam Generators	General Area	≤0.2
Auxiliary Building			
1A-30	Component Cooling Water Pumps	General Area	≤0.15
1A-32	Waste Tank Room	General Area	0.2-0.4
1A-35	Treated Waste Monitor Tanks	Contact	0.01-0.3
2A-12	Pipeway	General Area	0.05-0.15
2A-13	Resin Storage Tank	General Area	>0.4
2A-15	Volume Control Tank	General Area	1-3
2A-20	Radwaste Evaporator Room	General Area	0.25-0.5
3A-12	Waste Evaporator Panel	General Area	0.001-0.01
3A-25	Demineralizers	General Area	0.01 -0.2
4A-13	HEPA Exhaust Filters	Contact	≥0.005
Fuel Building			
1A-27	Waste Holdup Tank Rooms	General Area	2-5
1A-28	Water Heat Exchangers	General Area	0.07-0.14
1A-29	Gas Stripper Feed Pumps	General Area	≥0.025
2A-10	Drumming Room	General Area	0.2-1.5
2A-17	Drumming Room Entrance	General Area	0.2
2A-19	CVCS Monitor Tanks	Contact	≤0.3
3A-08	Boric Acid Evaporator Room	General Area	0.3-0.5
3A-10	Spent Fuel Pool Pump	General Area	≥0.05
3A-14	Spent Fuel Pool Skimmer Filters	General Area	≥0.1
4A-08	Controlled Access Machine Shop	General Area	0.02-0.1
4A-12	Spent Fuel Pit	General Area	≥0.025

人員嚴禁接近

沸水式(BWR)停爐時反應器廠房 輻射劑量偵測結果

編號	偵檢包	偵檢包名稱	空間劑量率 (mSv/h)	平均劑量率 (mSv/h)	背景劑量率 (mSv/h)	表面活度(Bq/100 cm ²)	
		(廠房區域)				α	β
1	A10100	一號機汽機廠房 17.25'	0.00009 ~ 0.018	0.0022	0.00009	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 7.6
2	A10200	一號機汽機廠房 39.83'	0.0001 ~ 0.0055	0.00077	0.00007	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 2.18
3	A10300	一號機汽機廠房 73.83'	0.00012 ~ 0.013	0.0012	0.00012	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 0.5
4	A10400	一號機反應器廠房 TORUS_-0.83' & 17.33	0.00018 ~ 0.65	0.17	0.00009	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 619
5	A10500	一號機反應器廠房 39.83'	0.0006 ~ 0.11	0.013	0.004	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 91.8
6	A10600	一號機反應器廠房 67.33'	0.0016 ~ 2.2	0.066	0.004	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 76.2
7	A10700	一號機反應器廠房 95.00'	0.001 ~ <u>11.7</u>	0.045	0.12	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 42.6
8	A10800	一號機反應器廠房 10.00'	0.00049 ~ 1.2	0.10	0.004	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 22.2
9	A10900	一號機反應器廠房	~ 0.06	0	0	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 109
10	A11000	一號機廢料廠房 -0.83'	0.0002 ~ 0.56	0	0	703	<MDA(0.311) ~ 915
11	A11100	一號機廢料廠房 17.33'	0.00057 ~ 30	0	0	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 63.9
12	A11200	一號機廢料廠房 39.83'	0.00046 ~ 0.4	0.075	0.006	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 92.7
13	A11300	一號機廢料廠房 56.83'	0.0004 ~ 1.4	0.34	0.006	<MDA(0.219)	<MDA(0.320) ~ 42.7
14	A11400	一號機廢料廠房 78.83'	0.0003 ~ 1.2	0.20	0.006	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 57.1
15	A11500	一號機廢料廠房 0.83'	0.00012 ~ 0.0040	0.0022	0.00012	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 2.02

反應器廠房

工作人員作業5小時
就超過安全標準
50毫西弗(mSv)

輕水反應器廠典型的高輻射劑量設備組件拆卸工作

圍阻體內設備組件拆卸

主環路泵拆卸

抑壓環管拆卸

蒸汽產生器拆卸

反應器環路水淨化系統換熱器拆卸

用過核燃料裝卸和運送

全系統除污

主環路保溫層拆卸

主環路組件滲漏處理

放射性廢物的處理、存儲和裝運

國際上工作人員職業曝露之劑量安全限度標準 (whole body)

職業曝露之劑量限度(whole body)

Country

20 mSv in one single year	Germany, Italy, the Netherlands, Pakistan, Romania, Slovenia, United Kingdom
20 mSv/year per 12 rolling months	Belgium, France
100 mSv/5 years and 50 mSv per any single year	Armenia, Brazil, Bulgaria, China, Czech Republic, Finland, Hungary, Japan, Korea, Lithuania, Russian Federation, Slovak Republic, South Africa, Spain, Sweden, Switzerland
50 mSv/year	Mexico, United States

台灣 游離輻射防護安全標準 第 7 條

輻射工作人員職業曝露之劑量限度，依下列規定：

- 一、每連續五年週期之有效劑量不得超過100毫西弗(mSv)，且任何單一年內之有效劑量不得超過50毫西弗(mSv)。
- 二、眼球水晶體之等價劑量於一年內不得超過150毫西弗
- 三、皮膚或四肢之等價劑量於一年內不得超過500毫西弗。

輻射暴露劑量可能會對人體造成的健康影響

輻射劑量 (毫西弗, mSv)	造成的影響 確定性效應 (只要達到劑量就會)
50~100	血液起化學變化
500	幾小時內感到噁心
700	嘔吐
750	2到3週內掉髮
900	腹瀉
1,000	體內出血
4,000	如果沒有治療，可能在2個月內死亡
10,000	腸壁受損、內出血並在1到2週內死亡
20,000	中樞神經系受損、幾分鐘內失去意識、幾小時或幾天內死亡

美國環境保護署發布的資料

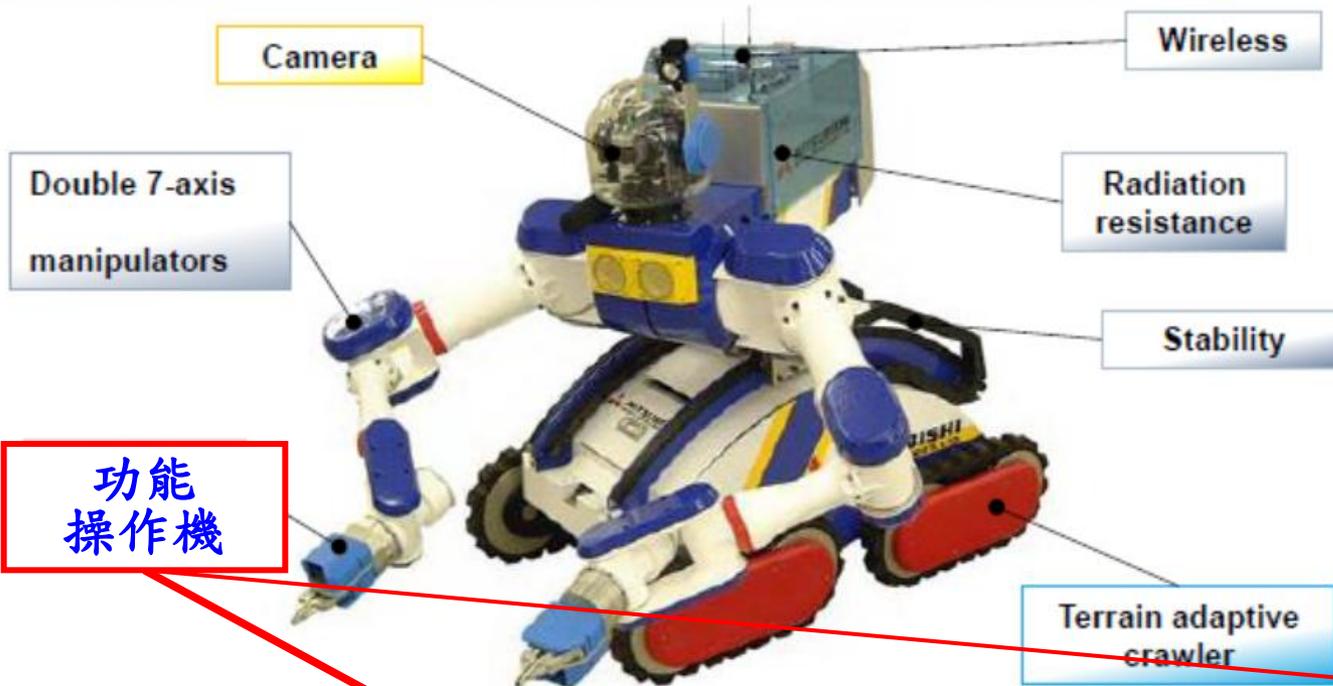
三. 機器人的主要系統裝置組成

- 功能操作機
- 機械手臂
- 載運系統
- 控制系統

三. 機器人的主要系統裝置

MHI-MEISTeR ~ Mobile Manipulator ~

Mitsubishi Heavy Industries
<http://www.mhi-global.com>



功能
操作機

Moving on irregular ground



Drilling concrete



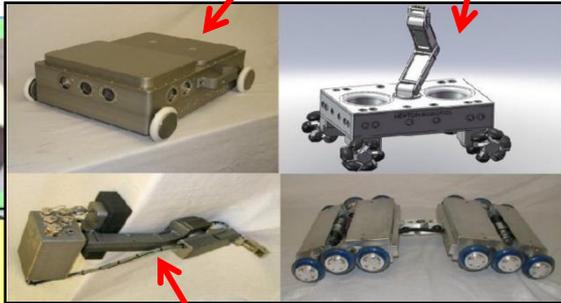
Cutting a pipe



機器人的運作系統主要裝置組成

控制系統

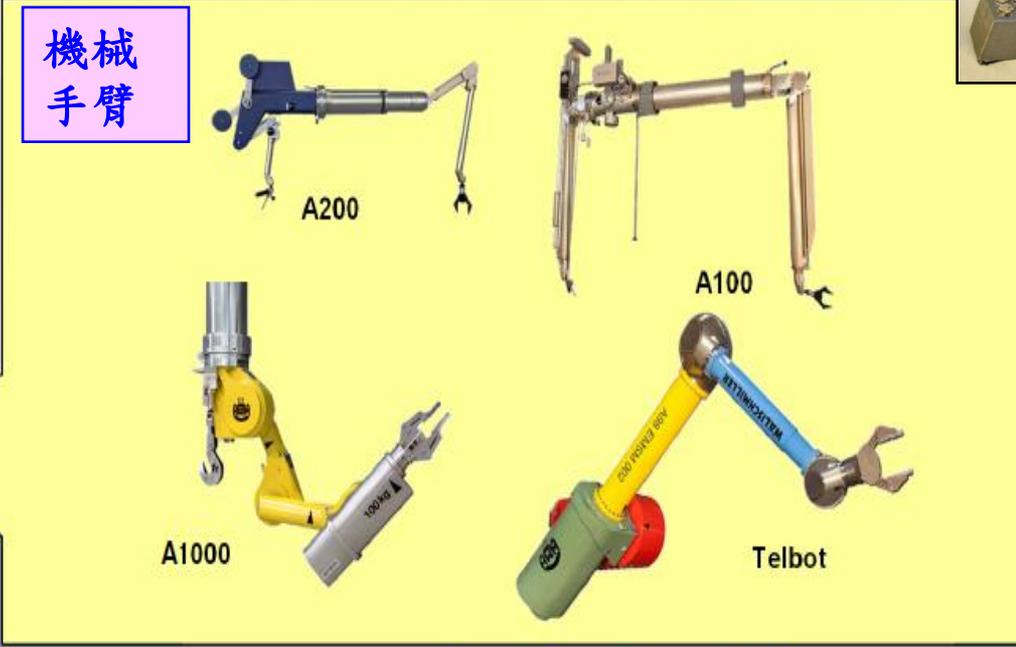
功能操作機
(可夾載輻射量測儀器. 除污機具或切割工具)



水刀

輻射測量儀

機械手臂



裂縫檢查儀

機器人載運系統

- Bridge Carriage telescope
- Floor Standing type
- Vehicle type

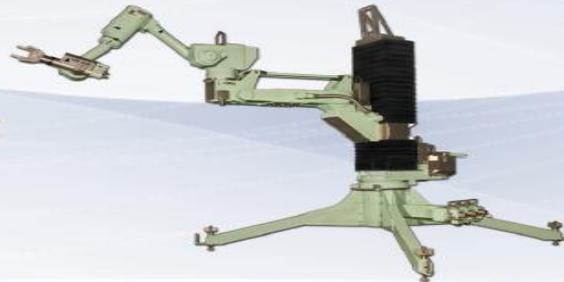


Kenji Hara, Experience in Decommissioning of Nuclear power Plants in Germany. Walischmiller Engineering GMBH, 2016)

Bridge, Carriage, Telescope



Floor Standing Type



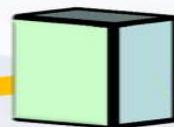
Vehicle Type



Requirements and Solutions



Operating System



Controller



Manipulator



Brokk remote controlled
(plant for **demolition**)



LMF general purpose **vehicle**
(<http://www.cybernetix.fr/eng/nuclear/nuclear/14.html>)



Dual Arm Robot
(Robotics Research at
Lancaster University)



Gamma Camera Robot



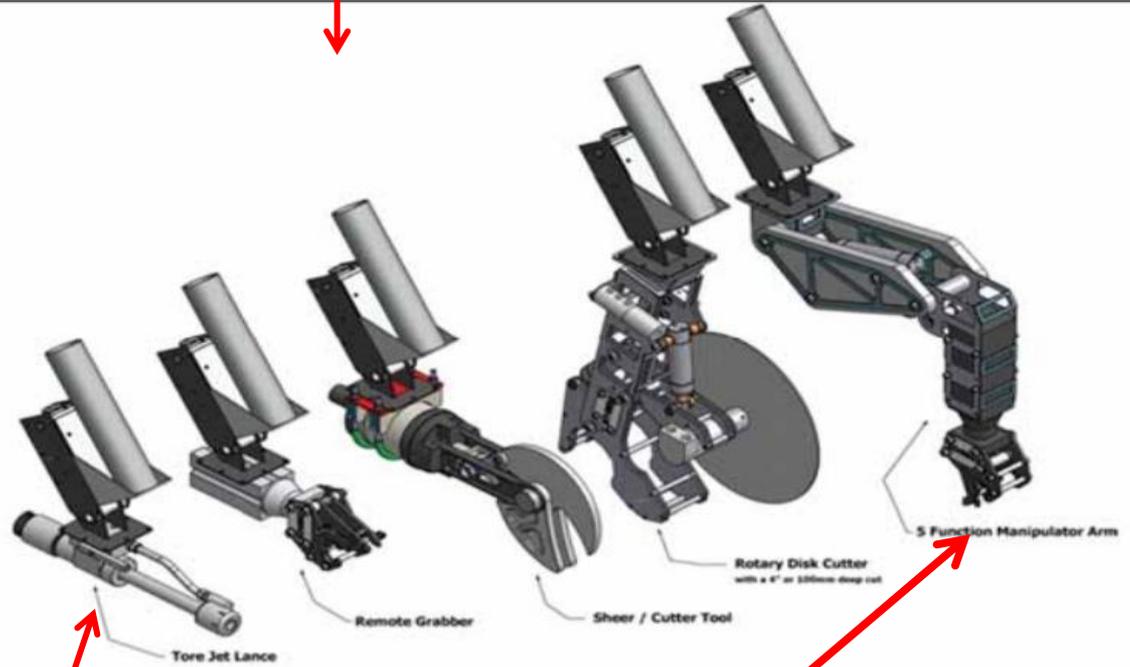
福島核電廠機器人隊伍



Rescue Robots Freiburg

Long Handled Tool

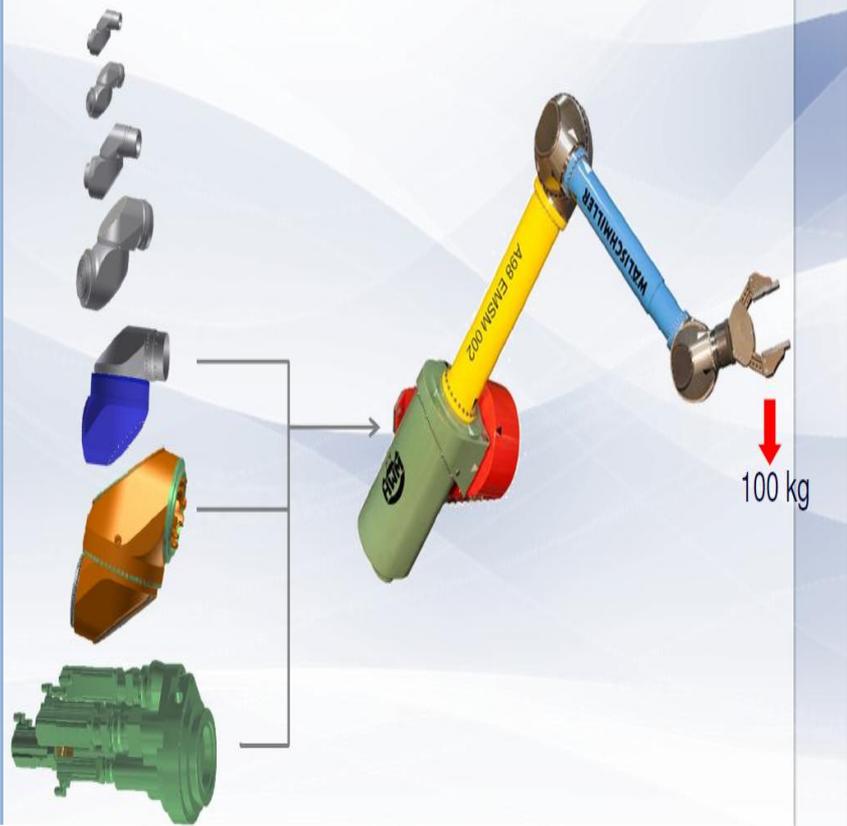
功能操作器具



1. Tore Jet Lance
2. Grabber / Clamper
3. Sheer
4. Rotary Disk Cutter
5. 5-Function Manipulator

From www.hydro-lek.com website

TELBOT Moduls



Kiyoshi OIKAWA
International Research Institute for
Nuclear Decommissioning (IRID)

切割機具

控制模式



MS

Master Slave Control



SC

Speed Control on
C.Co-ordinate Control



Plasma

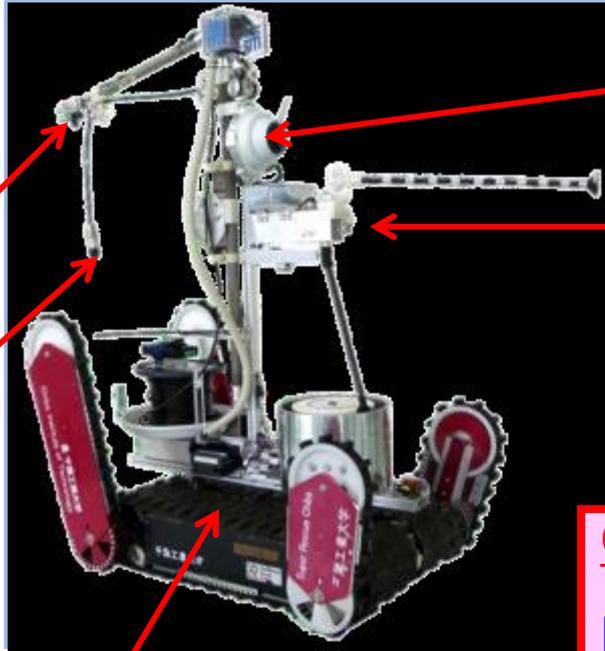
Laser



Goto

Quick Teach & human
interactive play-back Control

各組件耐輻射性能 (Radioactive resistant performance)
 根據機器人工作場所的劑量率，對每個機器人的抗輻射性
 要求進行不同規定



Field robot "Quince"

Sensors for measurement

CPU module, Battery, Motor driver

Camera

Laser Range Finder

耐輻射劑量值測試
 (Cobalt 60)

Component parts	Dose tolerance
Laser range finder	124 Gy(Sv)
CCD camera	169 Gy(Sv)
CPU module, Battery, Motor driver, Radio Tx/Rx, LAN HUB, etc...	> 200 Gy(Sv)

Management guideline

- Unmanned heavy machine 20 Sv total dose
- Portable field robot 30 Sv total dose

四. 機器人在核電廠運維作業應用類別與範例

1. 機器人在運維作業應用類別
2. 檢查作業應用範例
3. 除污作業應用範例
4. 放射性物質的遠端檢查作業
5. 緊急應變作業應用範例

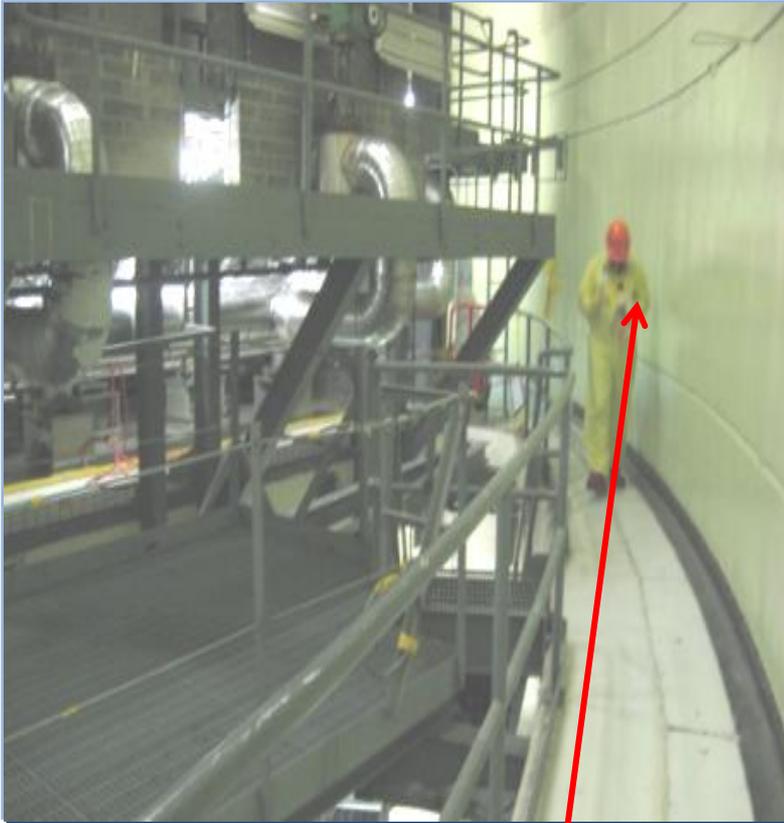
四. 機器人在核電廠運維作業應用類別與範例

1. 機器人在運維作業應用類別

目前核電機器人在運維作業上產品涵蓋核反應壓力容器及容器內組件檢修、核燃料元件操作及檢測修復、蒸發器視頻檢查及堵板操作、高危區域探查與作業、取水隧洞海生物監測及清理、核應急救災等多個領域。

- **檢查(Inspection)或調查量測作業**以供維修或延壽評估
 - 利用: 視覺, 超聲厚度(UT), 渦流(Eddy Current), 無損檢測(NDE)等方式, 進行設備安全性及評估壽命延長的條件
 - 調查量測輻射及污染程度和位置等
 - 收集樣本進行實驗室分析
- **除污(Decontaminate)/清理(Cleanup)**
 - 清除污染及物件
- 放射性物質的遠端**檢查**作業

2. 檢查作業應用範例 1—高輻射劑量發現(管路線上高活度碎屑的問題)



- 輻防技術員在通常為 γ 輻射劑量範圍 2 mrem/小時的區域中發現有高達 500 mrem/小時情況
- 工人後來發現，在鍋爐下方進行查漏時，其環境的最高劑量率為 4,900 mrem/小時。
- 調查發現，異常高劑量率的來源是在鍋爐冷端排水管線上。



ONTARIO POWER
GENERATION

鍋爐冷端排水管線上高活度碎屑的問題

§? High activity debris (~35 Ci of Co-60) in the Boiler 6 Cold Leg Drain Line of Unit 4.

- 500 rem/h working distance
- 3.5 rem/h at 10'
- 500 mrem/h at 20'

§? Drain line located in very congested area



**How will we make sure the robots work?
What are we going to do with it when it is Captured?**

(Josip Zic ,Section Manager, RP Programs & Field Support , Health Physics Department, Radiation Safety Division, Use of Robotics and Remote Monitoring Equipment for Reducing Dose and Risk Associated with Radiological Work at Ontario Power Generation,2016)

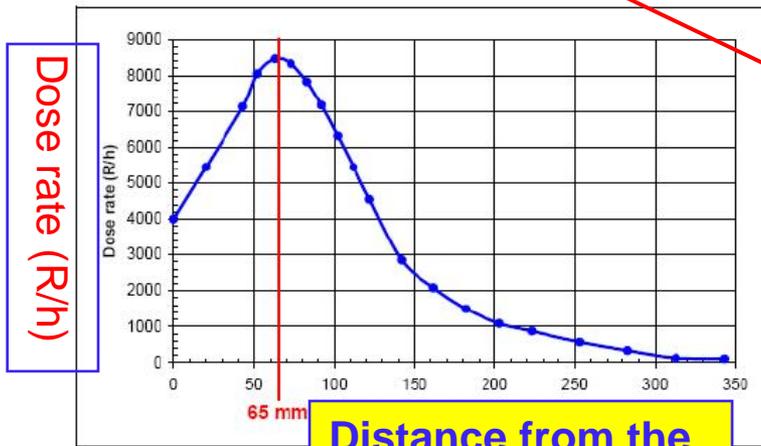
鍋爐冷端排水管線上高活度碎屑的問題(續)
— 機器人輻射檢查



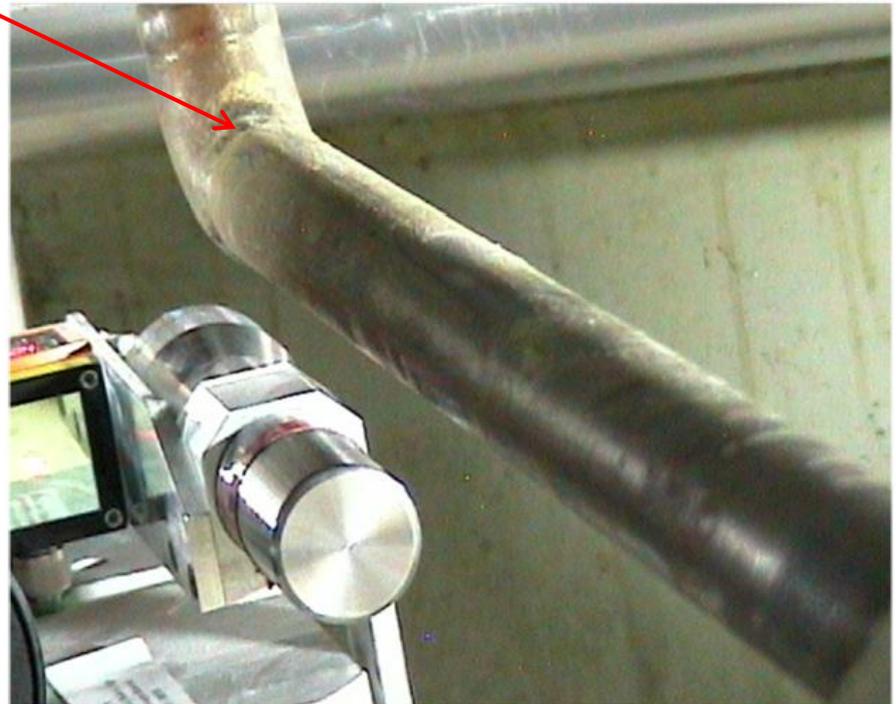
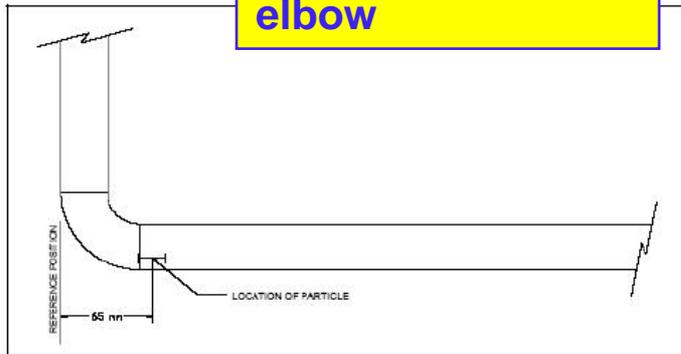
Gamma Camera Robot

鍋爐冷端排水管線上高活化碎屑的問題(續)

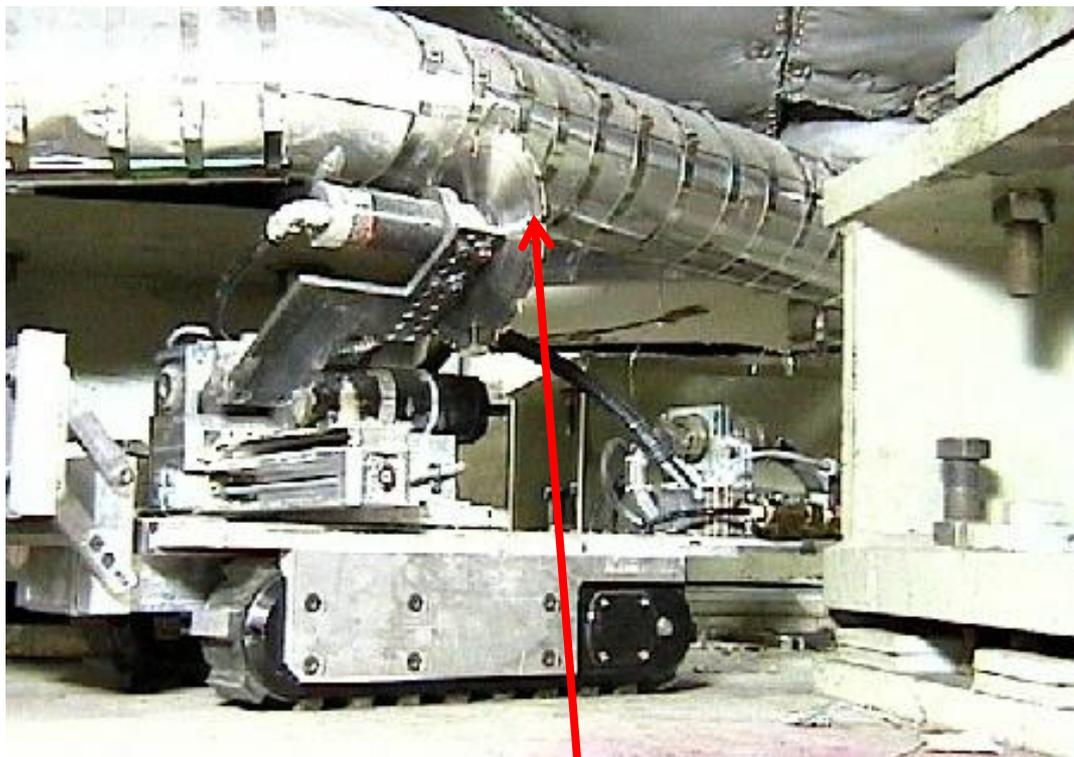
核驗問題位置



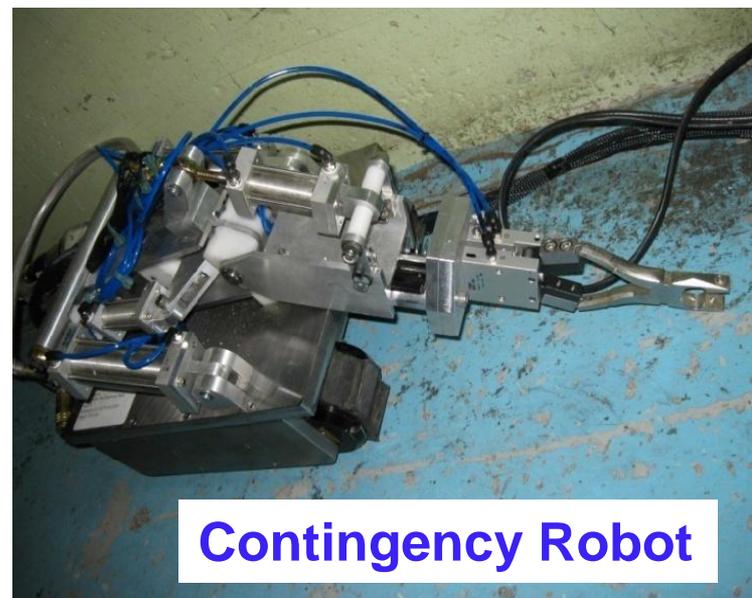
Distance from the elbow



鍋爐冷端排水管線上高活度碎屑的問題(續)—維修作業



機器人切除保溫層作業



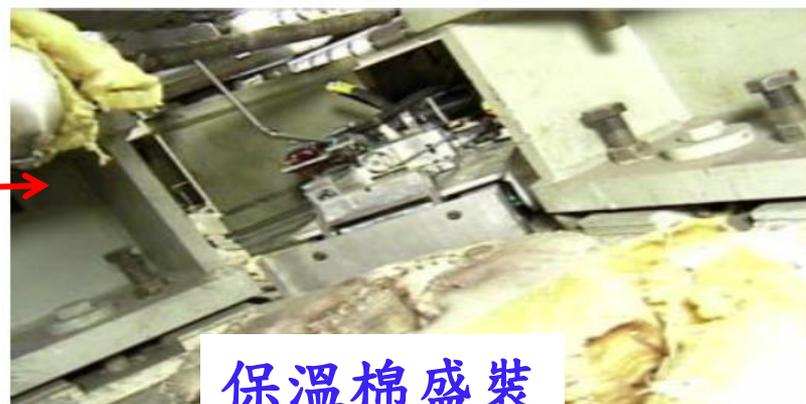
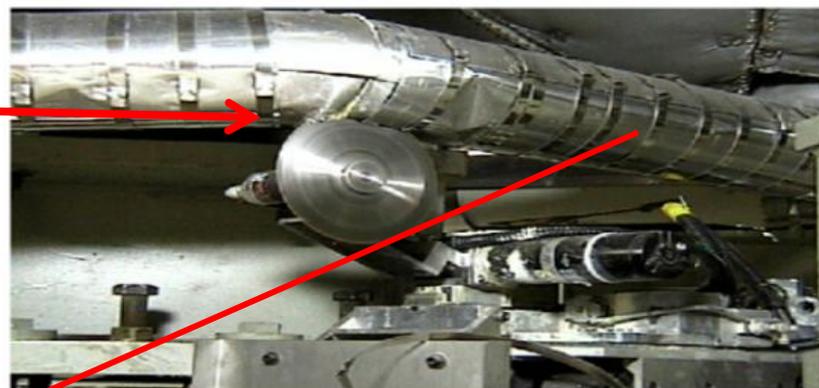
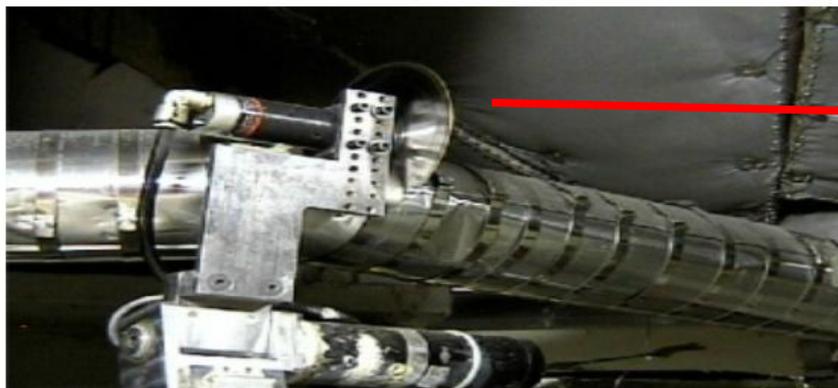
Contingency Robot



Freeze-Cut Robot

鍋爐冷端排水管線上高活度碎屑的問題(續)—維修作業

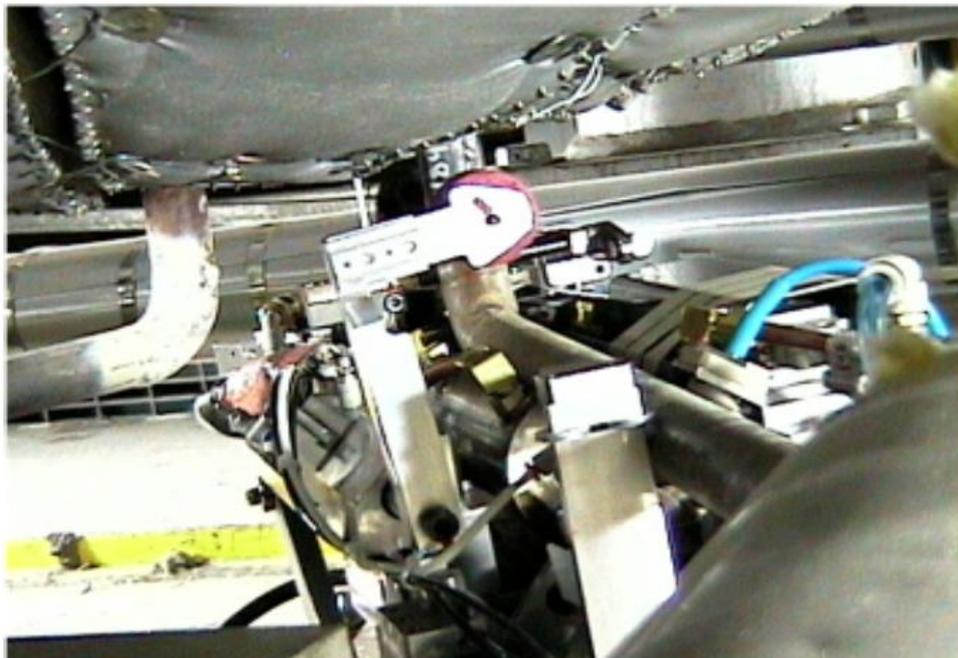
□ 保溫層切除作業程序



保溫棉盛裝

鍋爐冷端排水管線上高活度碎屑的問題(續)—維修作業

冷凍切割





Results

- 工作區平均劑量率: **5** mrem /h
- Highest Peak Dose Rate to a Worker: **200** mrem /h
- Total Dose for Source Retrieval: **151** mrem
- Dose for Source Containment and shipping: **12** mrem

◆ 最小化地區工作人數

◆ 最小化空浮氣放出

§□ Ended up having to do it again in 2014 on Unit 4 Boiler 8

2. 檢查作業應用範例 2—輻射劑量即時檢測機器人



機器人組成：

equipped with a camera to facilitate its dynamic and self-driven movement

(a). Robot as a whole

(b). Control unit

(c). Radiation sensor

(d). Geiger counter

(e). LCD screen

(f). Wireless

(g). GSM & GPS Controllers

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

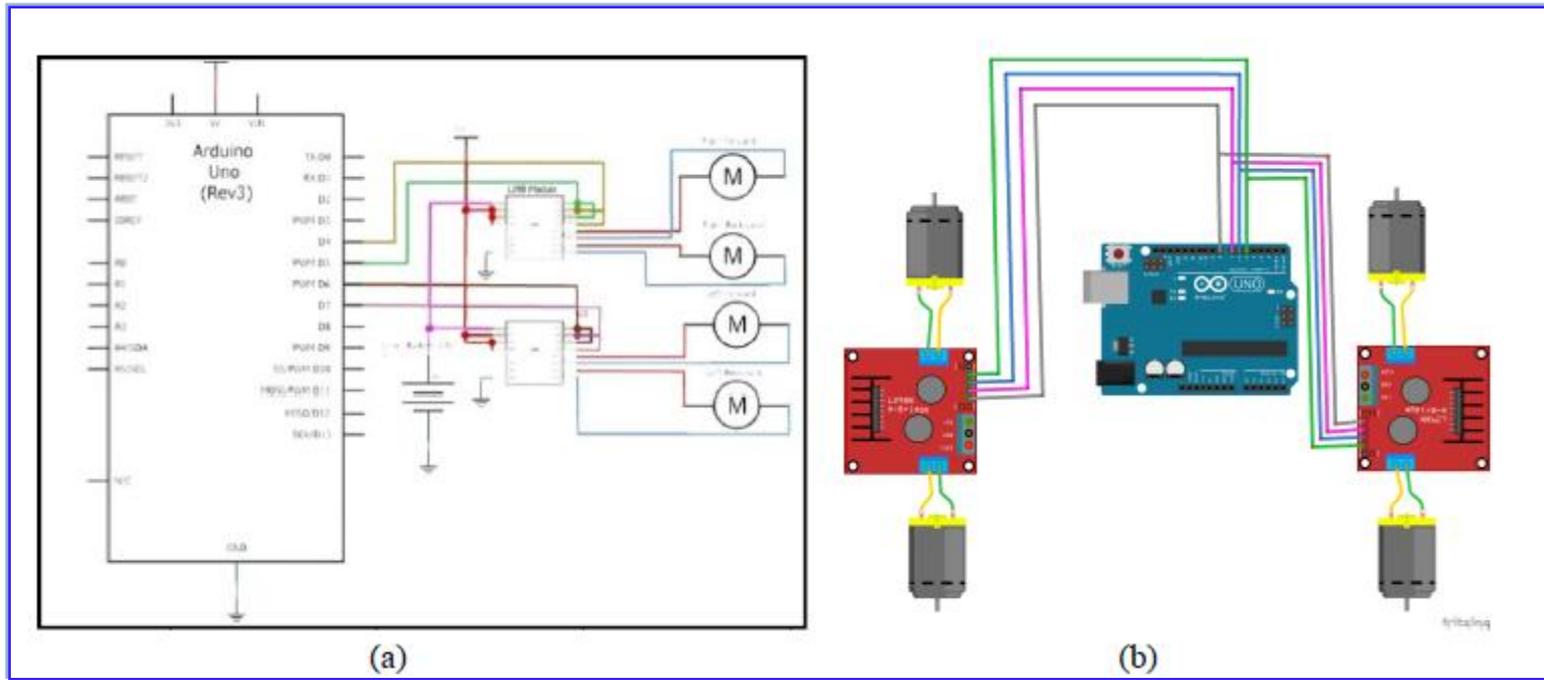


(f)



(g)

(Mohammad I. Alfraheed, etc., A Robot for Real Time Detection of Nuclear Radiation Levels
Jordan Journal of Electrical Engineering,
Vol. 1, No. 2, 2015)



- (a) Connecting diagram of the DC-motor and the motor board**
- (b) Connections between the DC-motor, CU, and the motor board**

This design serves and eases the control of the movement during rotation

2. 檢查作業應用範例 3--Ultrasonically inspect SRS reactor tank walls for cracking



設計系統包括：

遠端檢查機器人、三具定位攝影鏡頭、校準桅杆，以及為向反應器運送的控制中心的設計。

同時在反應器廠房配置一具5噸的起重機為安裝，操作，並拆除現有的起重機軌道

- 4 inch diameter **access hole**, 16 ft long reach
- Scanning performed **under water**
- Calibrate transducer in tank before and after each scan
- Certifiable UT scan results
- **Scan mapping** accuracy in sub millimeter range
- Completed scans of 3 SRS reactors
- **Multi-million dollar** program with full-scale reactor tank **mockup for testing**

(G Shanmuga Sundar1*, R Sivaramakrishnan1 and S Venugopal2,
DESIGN AND DEVELOPMENTS OF INSPECTION ROBOTS IN NUCLEAR ENVIRONMENT:
A REVIEW, Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res. 2012)

2. 検査作業應用範例 4—各式各樣檢查

1. Remotely Operated Underwater Vehicle for PWR Vessel Inspection



- ROV for Vessel Inspection
- 4 DOF movements in underwater
- 100 krad color CCD camera



- Multi-purpose ROV
- Stereo Camera and omni-directional camera
- Manipulator for retrieving foreign object



Inspection of Vessel Internals



Inspection of Barrel



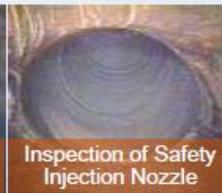
Inspection of Fuel Storage Rack



Retrieving Foreign Object



Inspection of RTD



Inspection of Safety Injection Nozzle

2. PWR Reactor Head Visual Inspection System

Upper Head Inspection Robot



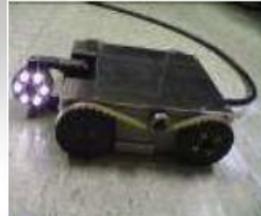
- Instrumentation Nozzle Inspection Robot
- 3 DOFs Color camera
- Overcomes uneven Insulation



Bottom Head Nozzle



Upper Head Nozzle



- CRDM Nozzle Inspection Robot
- 2 DOFs Color camera
- Magnet wheels for Climbing



Mock-up Test



- Remote Operation Unit
- Multi-monitor
- Recording/Replay Video Image



On-site Inspection

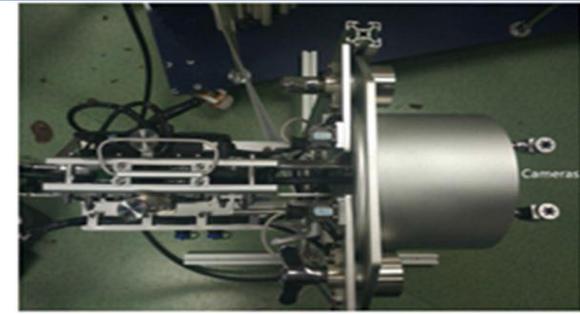
2. 檢查作業應用範例 5--inspection robot for nuclear station steam generator secondary side with self-localization



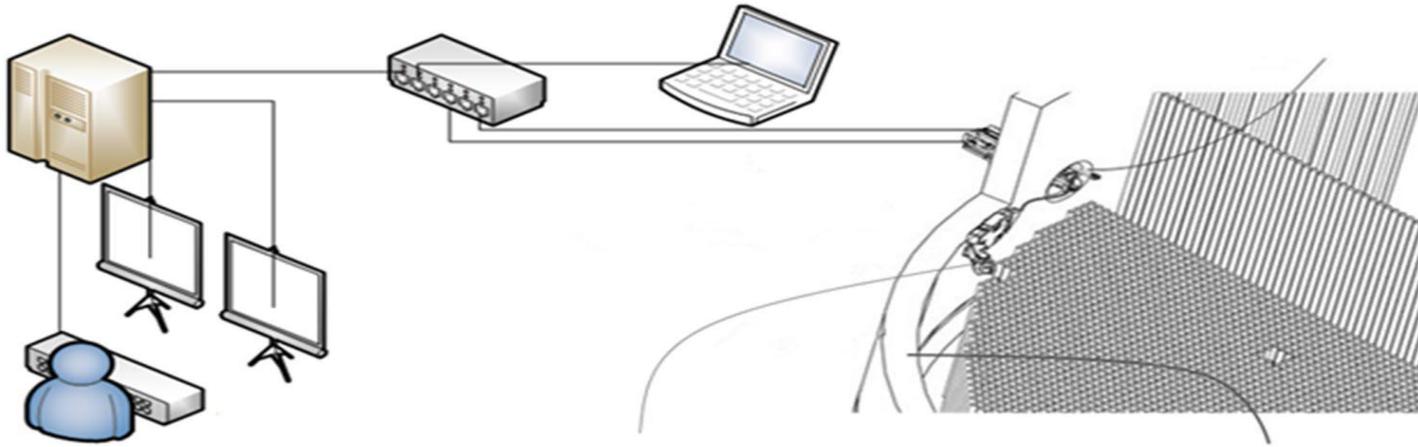
Remote Control Cabinet



Proximal Control Box



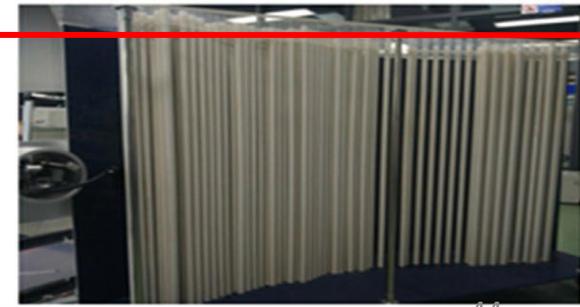
Cable Delivery Equipment

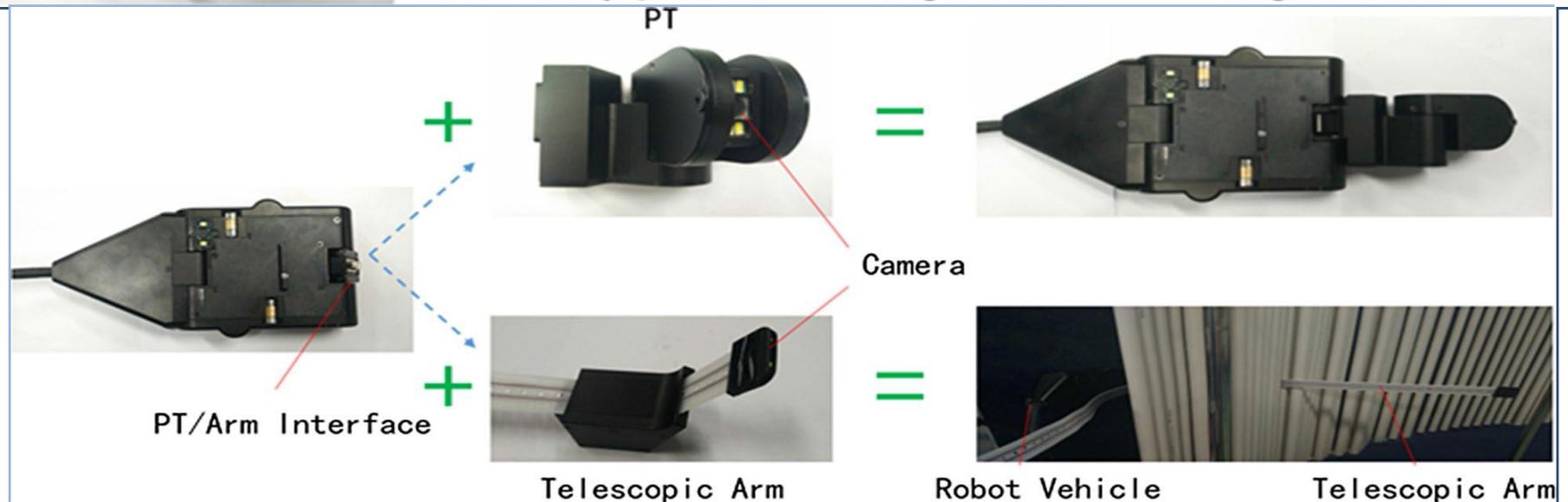
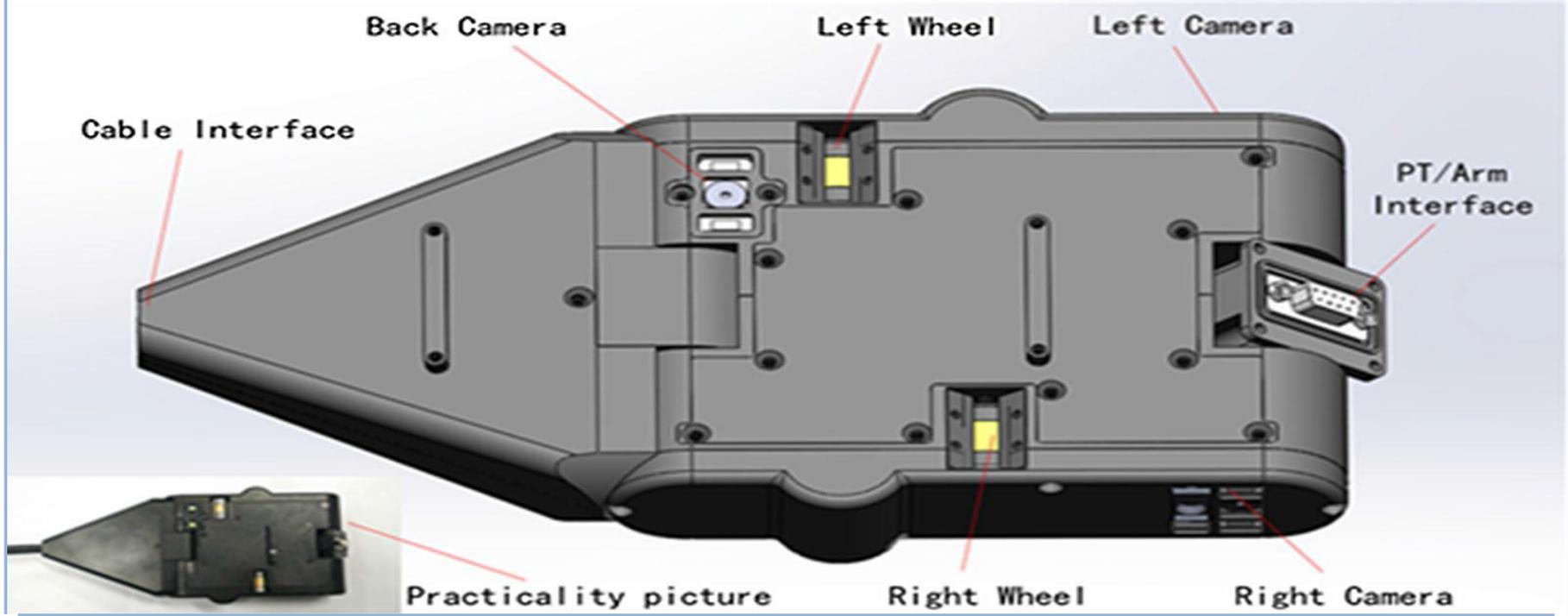


Remote Console

Robot Vehicle

Steam Generator Secondary Side Model





†Jinke Li and Xinyu Wu contributed equally to this work
 Guangdong Provincial Key Laboratory of Robotics and Intelligent System, Shenzhen Institutes of
 Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, 1068 Xueyuan Avenue, Shenzhen 518055, **China**

2. 檢查作業應用範例 6

§? Real-Time Routine Surveys

- Gamma, tritium, beta airborne, alpha airborne, radioiodine

§? Use of robotics to perform surveys, visual / thermal inspections



Use of Robotics and Remote Monitoring Equipment for Reducing Dose and Risk Associated with Radiological Work at Ontario Power Generation

Josip Zic

Section Manager, RP Programs & Field Support

Health Physics Department

Radiation Safety Division

(International Workshop on the Use of Robotic Technologies at Nuclear Facilities 3-Feb-2016)



iRobot's 710 Warrior®

The 710 Warrior 主要用於處理**重型物品**和**放射性物質**，
如**淨化過濾器**

- 能搬運重量達200磅的大型機器人
- 尺寸:21 “寬, 30” 長, 18 “高與機械手手臂和筆記型電腦
無線電控制器

3. 除污作業應用範例 1--反應器廠房的遠距離(機器人)除污技術

機器人能夠接近不同的地方，如地板，高的地方，管道和托盤等甚至位狹窄的地方，並清除各種類型結構的污染物，如灰塵和滲入污染物

For Low Places



Suction/blast



High pressure water injection

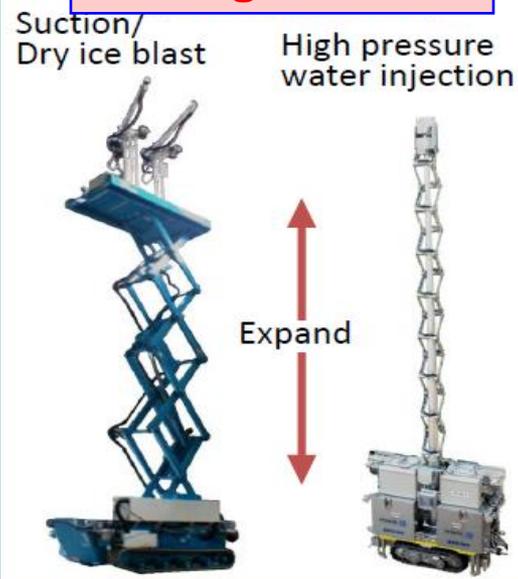


Dry ice blast

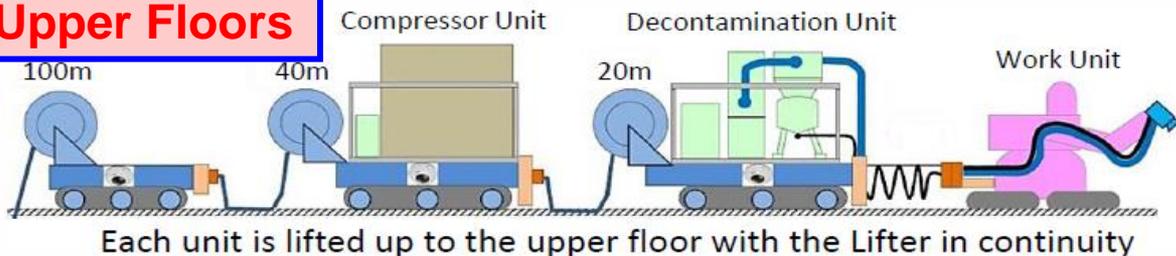


Ground floor of Reactor Building

For High Places

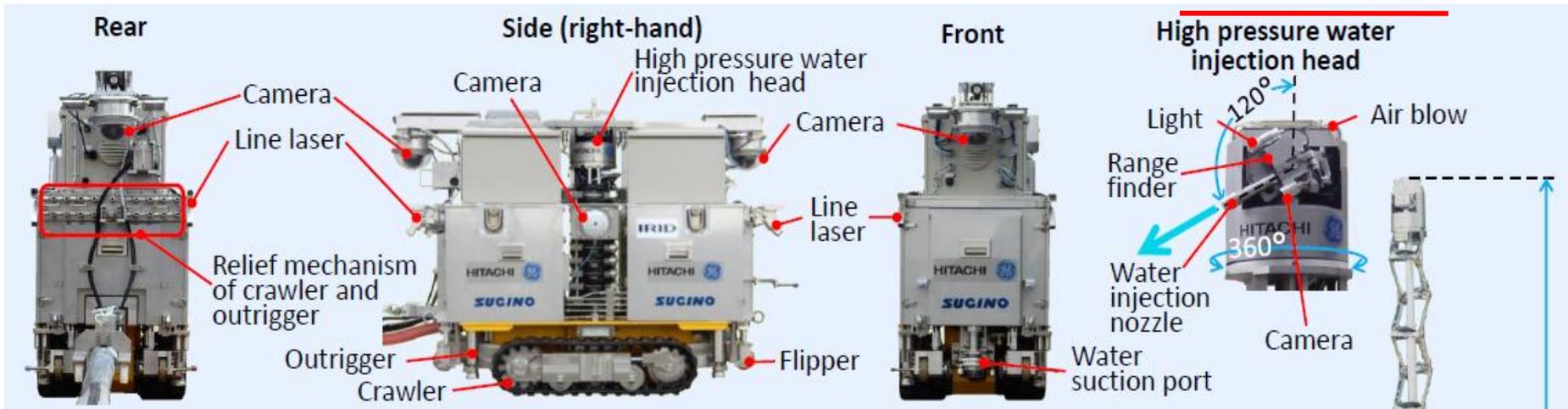


For Upper Floors



機器人除污性能評價

滿足特定要求的**機器人**不僅可用於**除污性能**，還可用於**遠端控制**、與其他系統元件的**連接**和**安全性能**



Evaluation Item

Target

除污性能

- Work area 3mSv/h, Travel pass 5mSv/h
- to remove 80% contaminated material
 - to collect injected water on the floor
 - < 1mm water level @ flat floor
 - < 10mm water level @ hollow place

遠端控制

- Decontamination work
- to access to 8m high place and operate the decontamination work
- Travelling
- to move the machine dragging a long harness behind through the narrow passage in the mock up facilities

安全性能

- to avoid falling down during the decontamination work @ 8m high place
- to make emergency stop on abnormal condition
- to draw the machine back using traction tool on emergency stop state

max 6105 mm

3. 除污作業應用範例 2—核設施牆面的除污技術

WallWalker®



2-D Torch Cutting WallWalker®

Pentek 公司可提供給核設施除污和其他有害的工作環境的2和3-維全面電腦化的工作機器人。

WallWalker® 可以配備各種工作模組，包括高壓噴砂嘴，沖噴嘴、混凝土鏟除、檢測相機、輻射調查設備和其他儀器

(Pentek, Inc.)

3. 除污作業應用範例 3—Robots used at Fukushima



絕對過濾器

Andrew Szilagy
Director, Office of D&D and Facility Engineering
US Dept of Energy, International Workshop on the Use
Of Robotic Technologies at Nuclear Facilities
February 2nd – 4th 2016

抽取地面污染物器具

4. 放射性物質的遠端檢查作業範例

Measurement of waste package – nuclide specific measurement

Drum measuring

One HPGe detector – scanning system

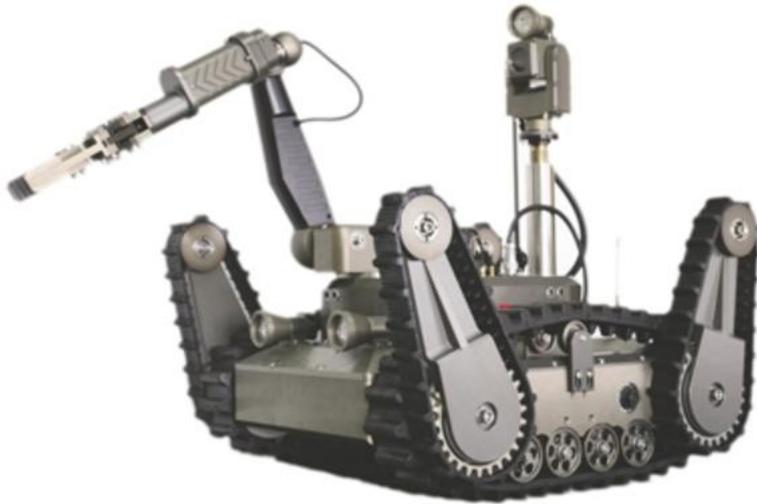
Measuring before sending to disposal site at NPP Dukovany

Czech Republic



5. 緊急應變應用範例

福島的事故應急經驗已得知，在反應器廠房的輻射劑量率約為幾十到數百毫西弗，緊急應變機器人的機動性顯示出很重要，此因機器人是急迫的被要求運送到事故現場協助檢查相關作業。



可以承受 65°C 的高溫，抵禦每小時100個西弗(Sv)的核輻射。其攜帶的相機等感測器，甚至可以抵禦每小時10000個西弗(Sv)的輻射

成都雙流的光電所，有一支專門研發耐輻射裝備和機器人的團隊。

中國幾乎所有的核電站都在使用他們研發的耐輻射機器人設備，它們會代替人進入核反應爐內部，完成一系列的特殊任務。

該所的特種光電智能化裝備研發團隊，2014年起與大亞灣核電站聯合研發“核環境下應急機器人”，2015年底一套能應用于高輻射區域偵查救援的“應急機器人”正式亮相。

是國內唯一在核電站現場使用過的機器人。



2017年10月18日-20日，由中国核能行业协会信息化专业委员会和中国广核电力股份有限公司携手主办的一一“智能核电高峰论坛”在上海中广核核电技术产业研发中心举行。

五. 機器人在核電廠除役作業應用類別與範例

1. 機器人在除役作業應用類別
2. 輻射污染調查量測作業應用範例
3. 除污作業應用範例
4. 拆除切割作業應用範例
5. 核廢料量測作業應用範例

五. 機器人在核電廠除役作業應用類別與範例

1. 機器人在除役作業的應用類別

1). 設施輻射污染調查量測作業

廠區域內放射性物質特性鑑定是除役計畫最關鍵元素，尤其是輻射劑量程度分佈和放射性累積存量評估：

除役方式決定、解體時輻射曝露劑量預估、解體廢棄物處理處置方法決定、除役費用掌握等之主要基本資料。

2). 除污作業

系統、組件的除污目的，是為拆除前的鬆散污染物的去除清理，以防止拆除作業污染擴散於環境，或者為使絕大部份拆除物可直接或經再除污處理後能符合清潔標準。

3). 拆除切割作業

對於不同材質類別及物件形態的拆解機具與工法技術切割機具及附屬設備的裝置，應考慮其可移動性及再拆裝利用，也是重要訴求。

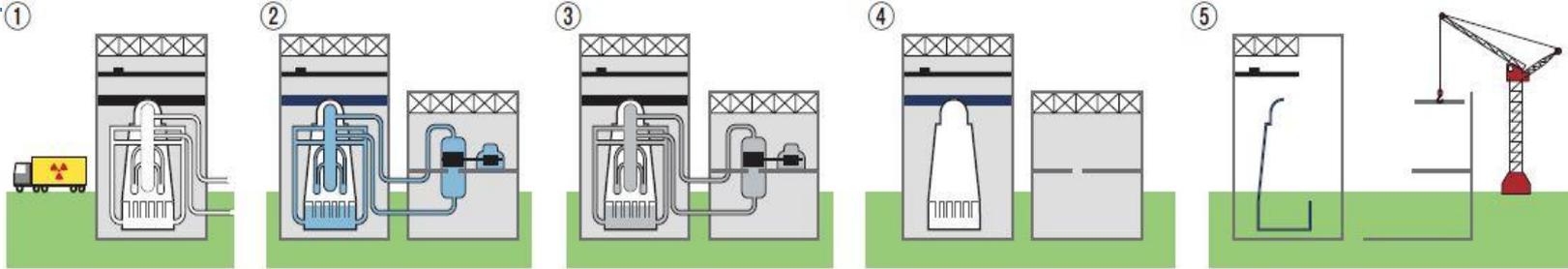
拆除作業成果績效的指針，應是以產出多少放射性廢物及一般廢物的量化為重要基準，而不僅是已拆除了那些。

4). 核廢料量測作業

核廢料桶移送最終處置的規定量測作業。

核電廠除役標準程序

自核電廠反應器中取出用過核燃料，將所有設施完全拆除並對產生的放射性廢棄物進行處理處置之過程，即稱為「除役」



移出用過核燃料

將用過或至或施當及核未燃再貯進的處

系統「除污」

取出用過核燃料使藥附要桶放質拆得順過核，化清在路內性後工安進

輻射及污染「量測調查」

進行設備及與的查(以全時產量依據)組件房射劑與(安業料數估

「拆除」(1) 內部設備

為防止放向，廠路並板附性除射外應先拆的槽房壁放進

「拆除」(2) 廠房結構

在確認廠房內完大部成後，即進行拆除工程
 ※廢棄物的處理
 依照廢棄物濃度、放射性物質的分區、處理、處置

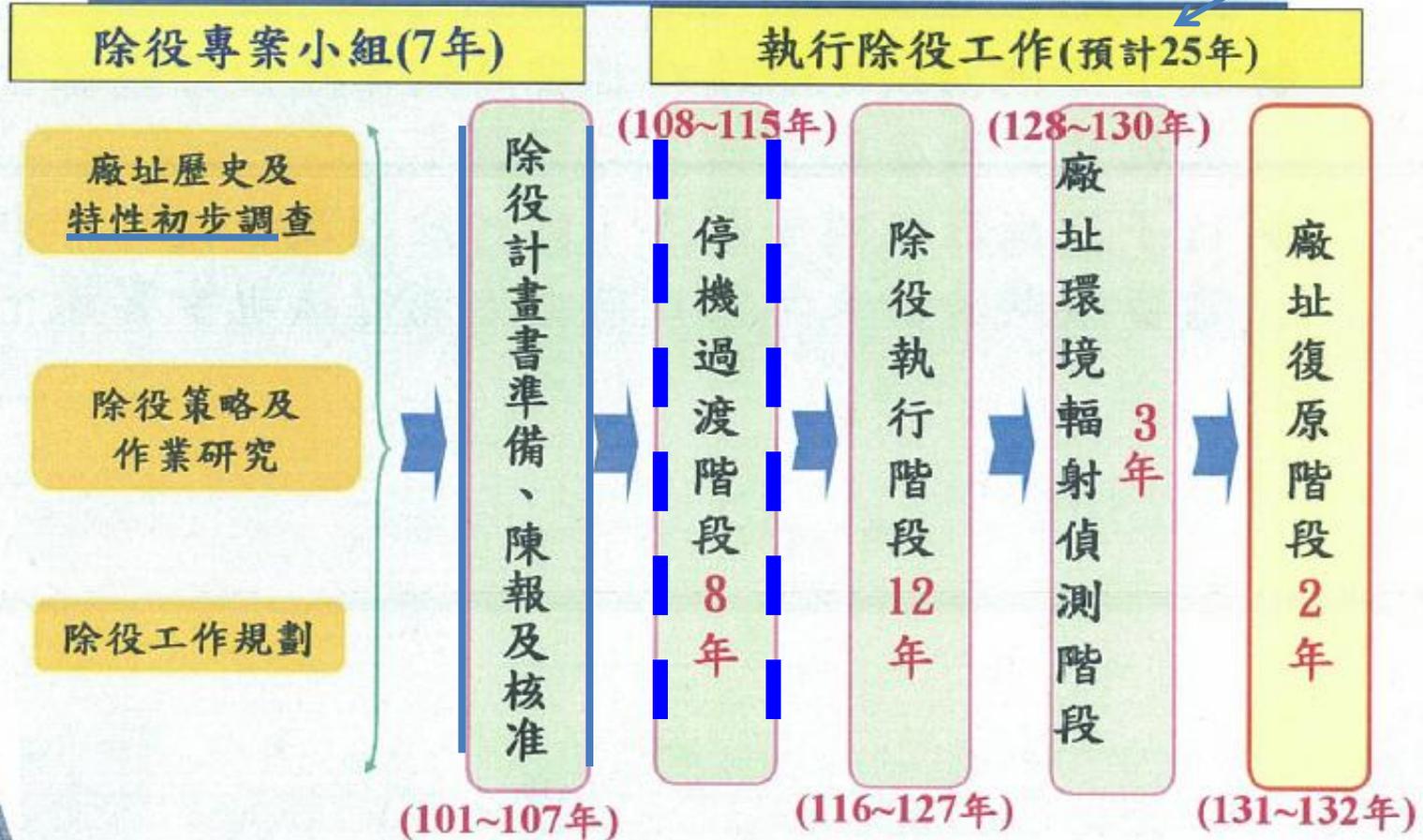
恢復土地原貌(綠地化)

台灣核能一廠除役規劃概述

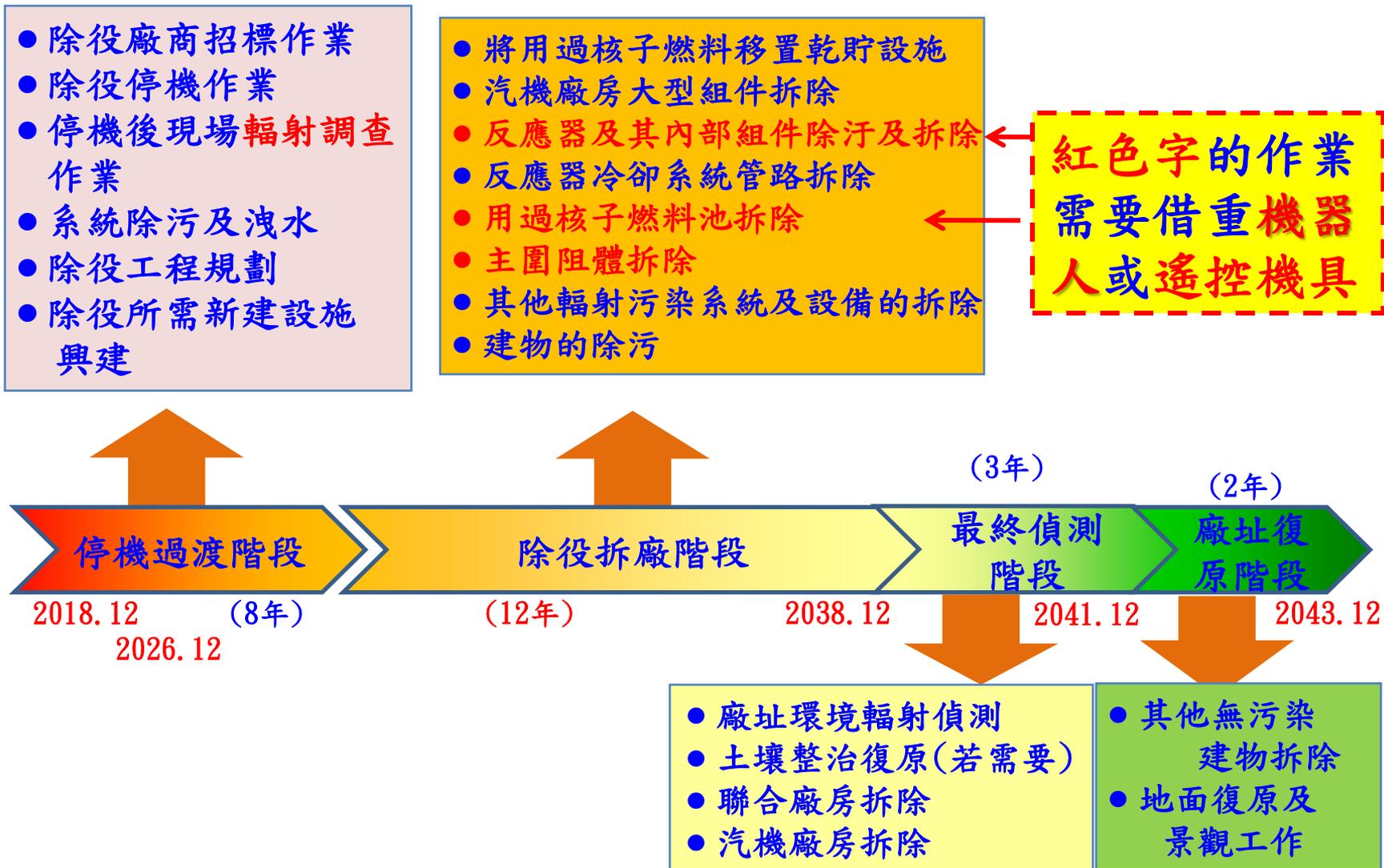
核一廠之使用執照至107年12月6日到期，屆時將停機開始進行除役工作，停機過渡階段約8年，主要讓燃料棒冷卻至可進行拆除之溫度，因此，於2127年進入除役執行時間，整個除役執行工作預計25年完成。核一廠除役時程規劃流程如圖



台電公司核一廠除役規劃流程



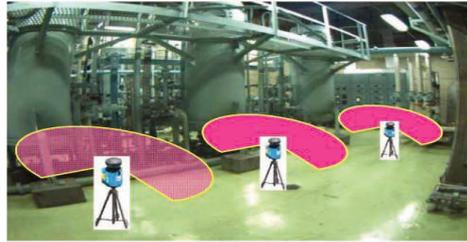
核一廠除役各階段主要進行作業 (台電 2016.9.26)



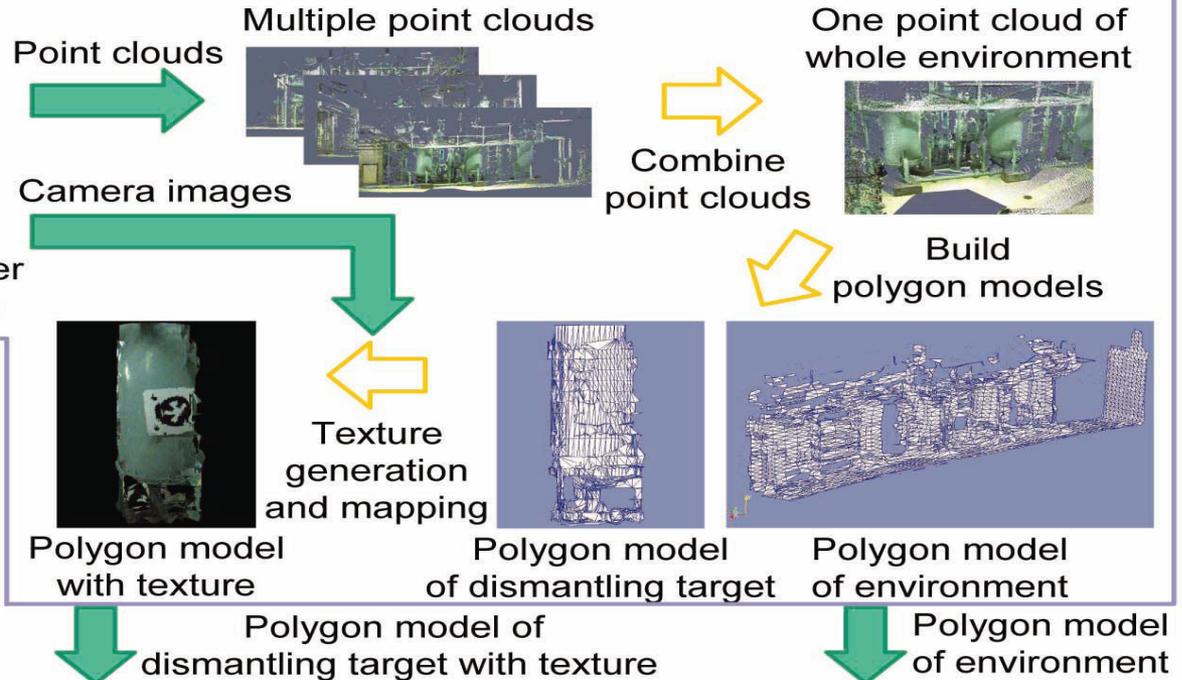
在規劃核電廠除役首先面臨的問題是，如何從數量龐大的整廠工程資料，包括工程圖面及系統數據中，篩選出除役所需的工程資訊，並結合輻射數據，彙整成為核能電廠除役所需的資訊，以為後續執行輻射及放射性廢棄物盤點、拆除工程管理、安全管理、成本及行政管理等的基礎。

在除役工程產生的資料中，經由核電廠設備、管路及廠房之3D模型繪製技術的應用，於拆除作業前進行場景瀏覽，進行工程視覺輔助技術之發展。透過該項技術提供工程數據，若能再佐附利用機器人進行輻射調查（含輻射特性及活化程度）數據資訊的整合，將可達到前述除役計畫對於人力、成本、安全等的目標。

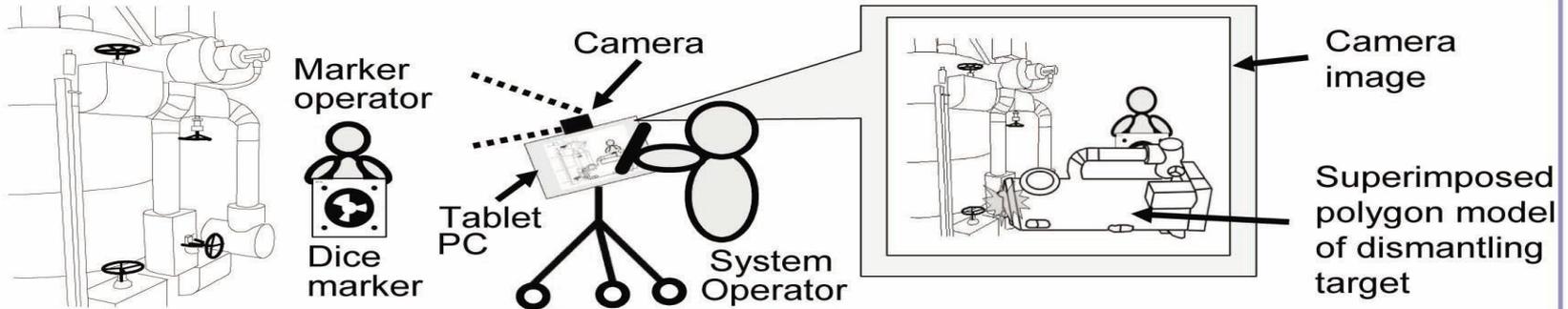
Modeling subsystem



Scan environment with a laser range scanner and a camera



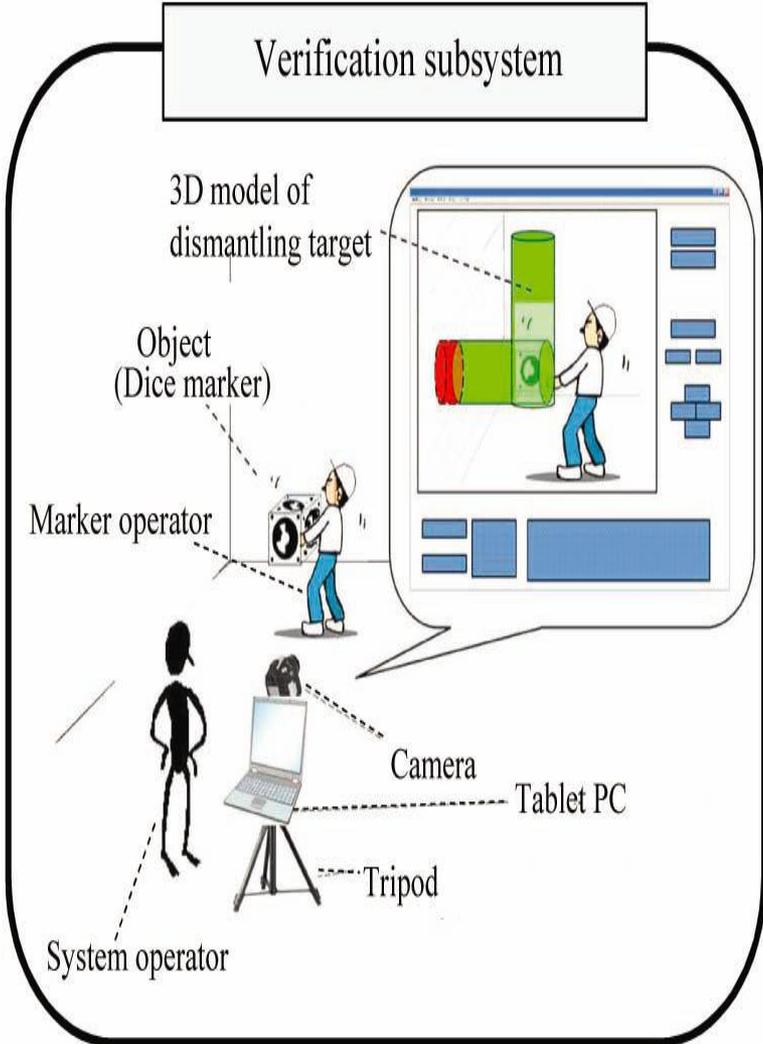
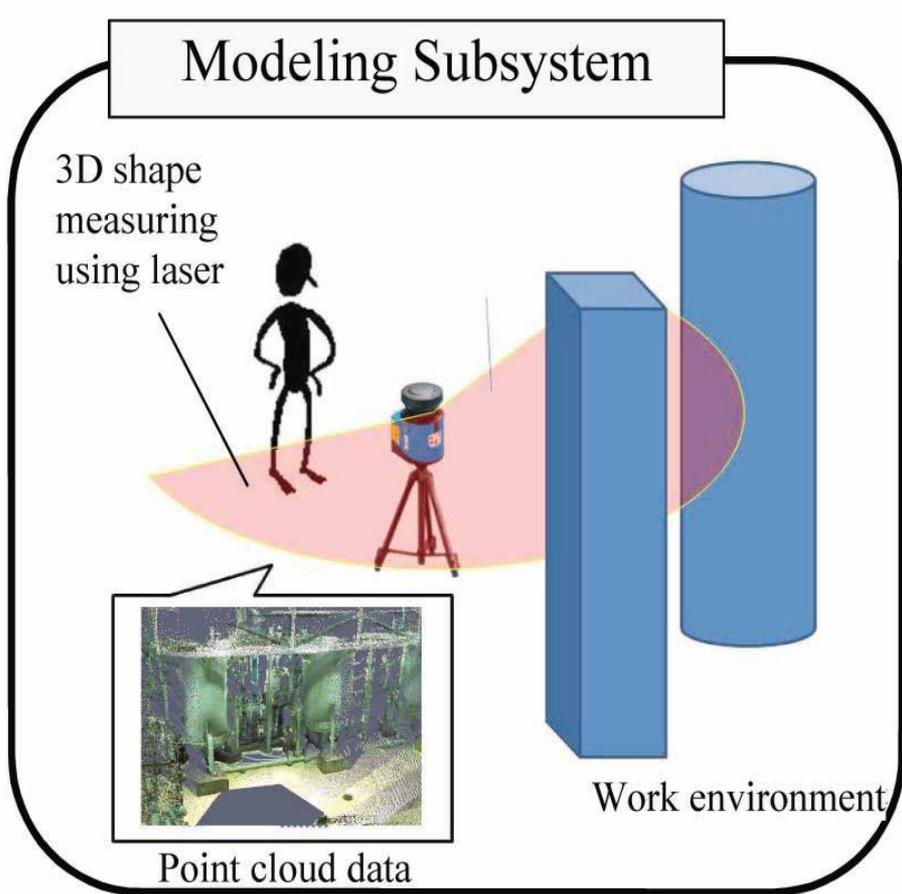
Verification subsystem



系統採用鐳射掃描器測量環境和拆解標的產生 3D 模型的資訊

(MASANORI IZUMI4 ,DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A TEMPORARY PLACEMENT AND CONVEYANCE OPERATION SIMULATION SYSTEM USING AUGMENTED REALITY)

3D 模型子系統及驗證子系統的測量示意圖



除役過程各作業階段的輻射特性調查使用的測量方法

The main radiological survey phases	Planned measurements
Historical site assessment	Not planned
Scoping surveys	Dose rate, Surface beta contamination
Characterization surveys	Dose rate, Gamma activity of key radionuclides ^{60}Co and ^{137}Cs (gamma spectrometry), Surface scanning to define the areas of elevated activity
Remedial action/decontamination support surveys	Dose rate, Laboratory measurements of samples, Surface scanning
Final status surveys	Dose rate, Surface scanning, Gamma activity of key radionuclides ^{60}Co and ^{137}Cs (gamma spectrometry), Surface beta contamination, Laboratory measurements of samples

A list of measurement methods used at various radiological survey phases may be updated depending on some circumstances arising when performing surveys.

放射性測定原則：

== 每一測定點

輻射劑量率 (mSv/h)

== 每一樣品：

Total alpha, beta and gamma activity (Ci)

== 挑選樣品：

* Gamma spectrometry

* Determination of hard-to-detect radionuclides (alpha and beta spectrometry)



LB 123 D-H10 Dose Rate Monitor

特別適用於低劑量率水準
從：背景到10 mSv/h



The LB 134 Universal Monitor II

可用來測量地面、牆壁表面 α 和 β - γ 輻射的污染物



LB 126 portable Dose- and Dose rate Monitor Detector

Measuring Range
50 nSv/h to 50 mSv/h

Energy Range
30 keV – 1.3 MeV
Angle dependence
 $\pm 45^\circ$
Operation point
1750 V

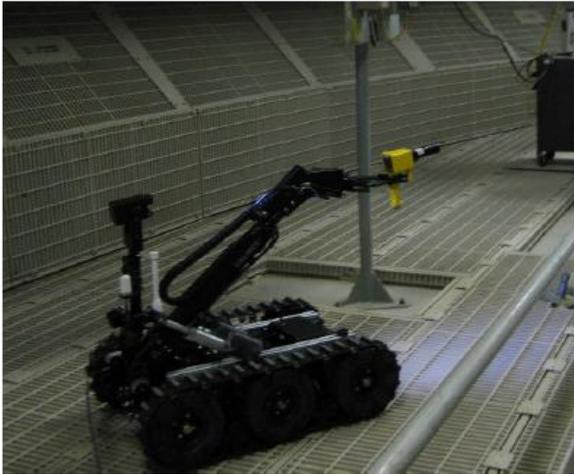
(BERTHOLD TECHNOLOGIES GmbH & Co.)

2. 輻射污染調查量測作業應用範例 1

即時調查

- 伽馬, 氚, β 空浮, α 空浮, 碘同位素
- Non-Radiological Monitoring
 - iCAM filter head changes, HEPA vacuum on/off, temperature, humidity

使用機器人進行調查、目視和熱檢測



2. 輻射污染調查量測作業應用範例 2

-- Radiation Field Mapping System

說明

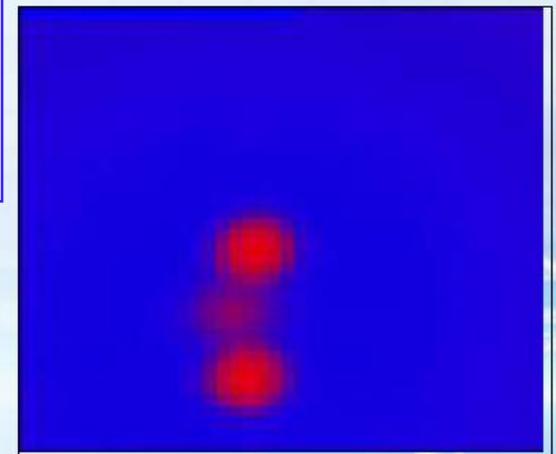
提供輻射源測量輻射劑量分佈和定位, 以利制定
輻射防護方案

Function & Specifications

- Identifying location and intensity of radiation sources
- Measuring and tracking radiation distribution
- Mapping real image and radiation data for visualizing radiation field
- Radiation sensing sensor : CsI(Tl) scintillator and photodiode
- Shield : Pb
- Weight : About 50 Kg including pan/tilt mechanism
- Measuring range : 60 degrees in horizontal direction
40 degrees in vertical direction
- Vision sensing : Horizontal-moving axis stereo camera
- Sensor mobility : Remote control through stereo monitor
- Data display : VGA monitor

Applications

- Measurement of radioactive contamination
 - Radiation level monitoring in radioactive waste facility
 - Effective radiation protection and shielding
 - Remote monitor and surveillance in high radiation environment



2. 輻射污染調查量測作業應用範例 3

--Position-Sensitive Radiation Monitor



本系統可以用於
free-release surveys
調查量測，因為它是美國聯邦檢測水準靈敏度極限值所需的表面測量儀器。

SCM/SIMS是污染地板和牆壁表面自動化的量測及資料分析系統。

position-sensitive gas-proportional counter (PSPC) 在一平方米內可進行測量400個點

是供 β/γ 和 α 放射性污染的檢測系統，和電子資料記錄器一起安裝在自行移動車上。

特性

- C A position-sensitive detection system that precisely registers locations of radioactivity
- C Ability to accurately correlate contamination levels to specific locations
- C Ability to collect and store continuous radiological data in a database format
- C Ability to monitor for both beta/gamma and alpha contamination
- C Provision of real-time imagery of the contamination as the surface is being surveyed
- C Provision of clear, concise, easily understood graphics of survey data
- C Flexible design that can accommodate a variety of detectors (e.g., sodium iodide for cesium-137 gamma)
- C Compatible with existing software to facilitate automatic mapping
- C Efficient, automatic production of reports using standard word processing software coupled with twodimensional color imagery of the area surveyed

2. 除污作業應用

各系統、組件的除污訴求(或目的):

為拆除前的污染清理，以減低作業人員輻射劑量或為防止污染擴散於環境，或者為使絕大部份拆除物可直接或經再除污處理後能符合清潔標準。

2. 除污作業應用範例 1—核燃料池的除污技術

2. Performance Comparison Between the En-vac Robotic Wall Scabblers and the Baseline Technology.

可用於乏燃料池
的清理



Figure 5. En-vac removing paint from wall in the Decon Shop

Performance Factor	Baseline <u>Pentek Hand-held Scabblers</u>	Technology <u>En-vac Robotic Wall Scabblers</u>
Personnel/equipment/ time required to obtain data or paint chips	<p>Personnel:</p> <ul style="list-style-type: none"> Two Laborers <p>Equipment:</p> <ul style="list-style-type: none"> One Pentek Vac Pac Model 12A Rotopeen scabbling head Needle Gun scabbling head. <p>Time:</p> <ul style="list-style-type: none"> 3 hours and 15 minutes to scabble 45 ft² of painted concrete 	<p>Personnel:</p> <ul style="list-style-type: none"> Two En-vac Operators <p>Equipment:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 En-vac robot Recycling unit Filter and Vacuum unit <p>Time:</p> <ul style="list-style-type: none"> 36 minutes to scabble 60 ft² of painted concrete
Preparation time	<ul style="list-style-type: none"> 2 hours to transport equipment to TAN from another facility 2 hours to setup equipment 	<ul style="list-style-type: none"> 24 hours to transport equipment to the INEEL 3 hours to setup equipment
Total time per technology	<ul style="list-style-type: none"> 3 hours and 15 minutes to scabble 45 ft² 	<ul style="list-style-type: none"> 36 minutes to scabble 60 ft²
PPE requirements	Both technologies required the same level of PPE. The number of workers required to wear PPE is the same for both technologies.	
Superior capability	<ul style="list-style-type: none"> The Pentek system can scabble closer around obstruction than the En-vac The Pentek system weighs less. The Pentek system is more mobile than the En-vac. 	<ul style="list-style-type: none"> The En-vac System scabbles faster than the Pentek. The En-vac system can scabble deeper on concrete surfaces than the Pentek.

Table 1. Operational Parameters and Conditions of the En-vac Robotic Wall Scabblers Demonstration.**Working Conditions**

Work area locations	<ul style="list-style-type: none"> TAN-607 Facility
Work area access	Access is controlled by locked door.
Work area description	<ul style="list-style-type: none"> Work area inside the TAN-607 Decon Shop is posted as a controlled area and radiological controlled area requiring training for entry.
Work area hazards	<ul style="list-style-type: none"> Tripping hazards Airborne contamination
Equipment configuration	The En-vac system was transported to the job site by the vendor.

Labor, Support Personnel, Specialized Skills, and Training

Work crew	<ul style="list-style-type: none"> Two Laborers and one Equipment Operator Two En-vac vendor operators One Electrician
Additional support personnel	<ul style="list-style-type: none"> One data taker One health and safety observer (periodic) One test engineer One photographer
Specialized skills/training	<ul style="list-style-type: none"> No specialized training

Waste Management

Primary waste generated	<ul style="list-style-type: none"> Concrete and paint
Secondary waste generated	<ul style="list-style-type: none"> Disposable personal protective equipment (latex gloves, tyveks and rubber boots)
Waste containment and disposal	<ul style="list-style-type: none"> Grit was recycled many times before it was collected as waste, which greatly reduced the volume of secondary waste.

Equipment Specifications and Operational Parameters

Technology design purpose	<ul style="list-style-type: none"> To remove coatings from various masonry and carbon steel surfaces.
Specifications	<ul style="list-style-type: none"> Three large units 10,000 lbs
Portability	<ul style="list-style-type: none"> The En-vac system is not portable once set up.

Materials Used

Work area preparation	Conduit and some piping were removed for the demonstration.
Personal protective equipment (PPE)	<ul style="list-style-type: none"> Two pair rubber latex gloves Two pair safety glasses Tyvek, respirators and shoe covers

Utilities/Energy Requirements

Power, fuel, etc.	<ul style="list-style-type: none"> The En-vac system requires a maximum of 640-scfm compressed air with an air dryer, and 440Vac, 3-phase, 60-Hz, 120-kVA-peak demand electrical power.
-------------------	--

2. 除污作業應用範例 2--核燃料池的除污技術



Types of Robotics By **Hydraulic Type**



(*Good Practices for Robotic Technology in Nuclear Applications*)

鏟除機具

3. 拆除切割作業應用範例 1 --Cutting of Reactor Pressure Vessel with Plasma torch

Delivered Robot 1



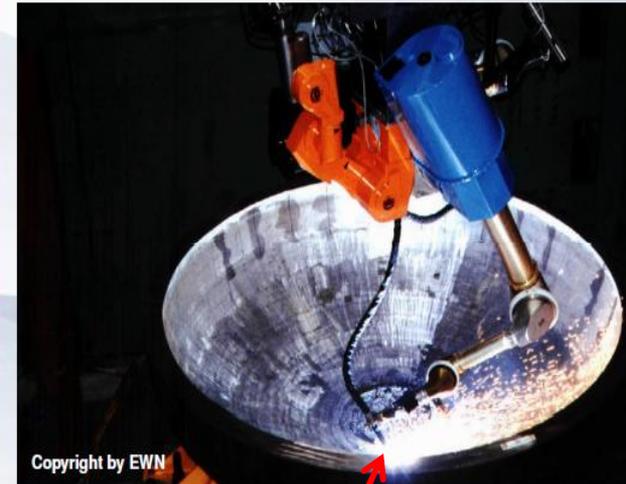
Bridge and Carriage

Telescope

Camera Arm

A1000
500kg
Telbot 100kg **Telbot** 100kg

Arm



Copyright by EWN

Reactor Pressure Vessel, 180 mm thickness

Reactor Pressure Vessel, 180 mm thickness

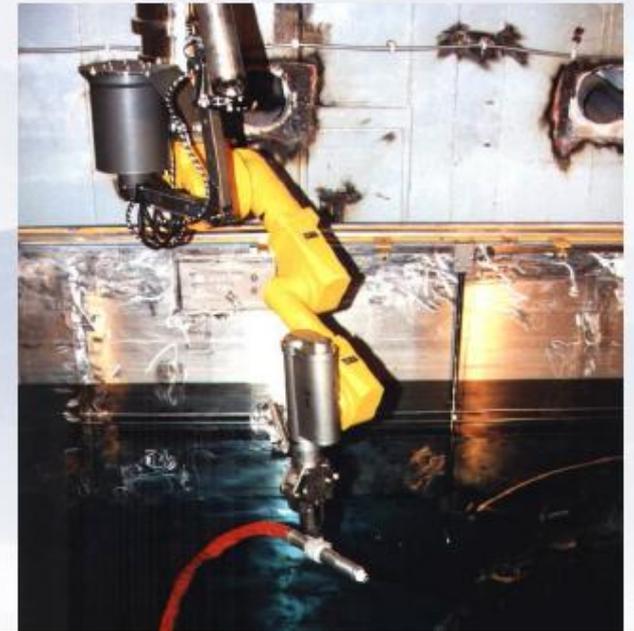
3. 拆除切割作業應用範例 2

Two A1000 Power Arm into Wet Cutting Station

切割技術

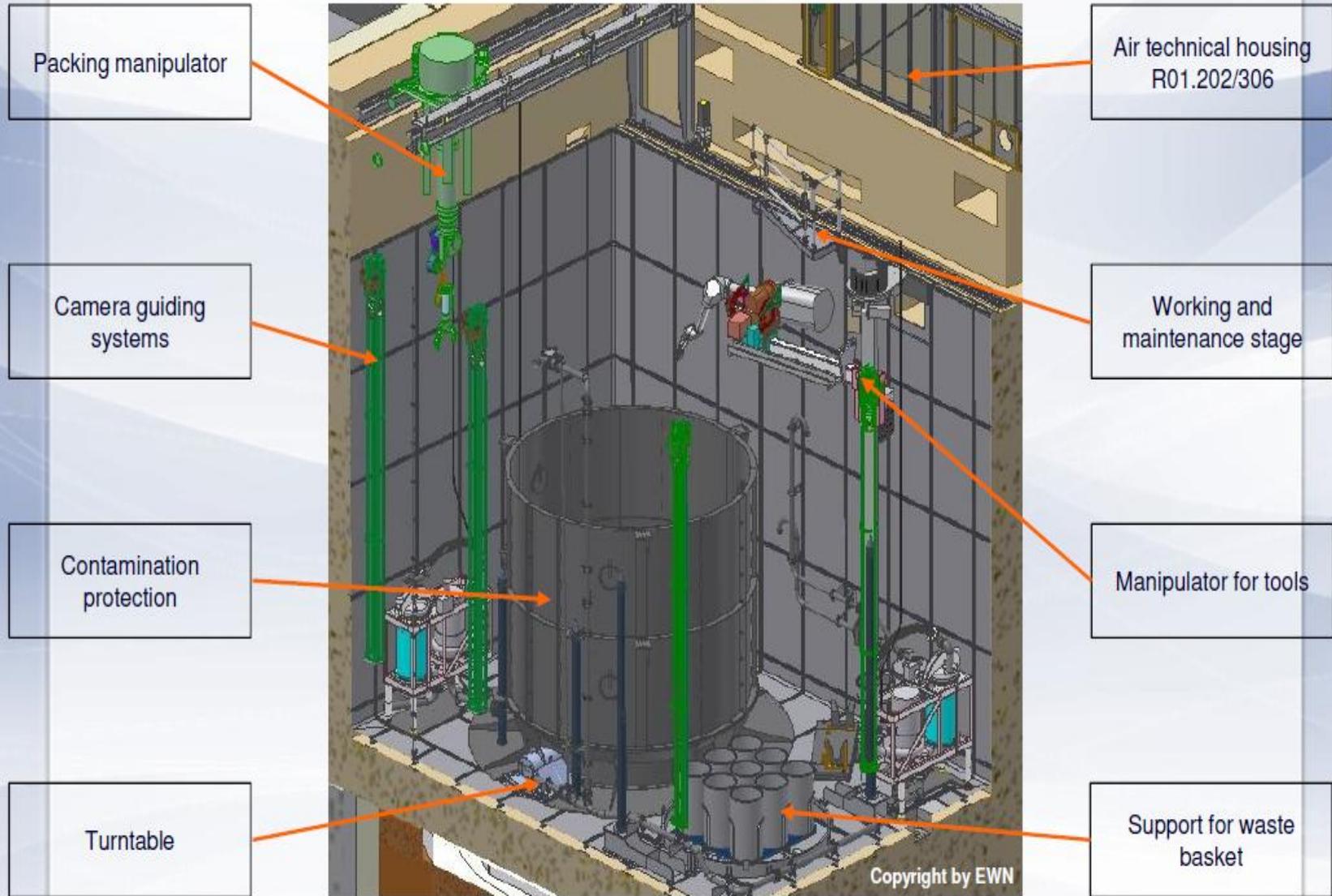
Cutting technique

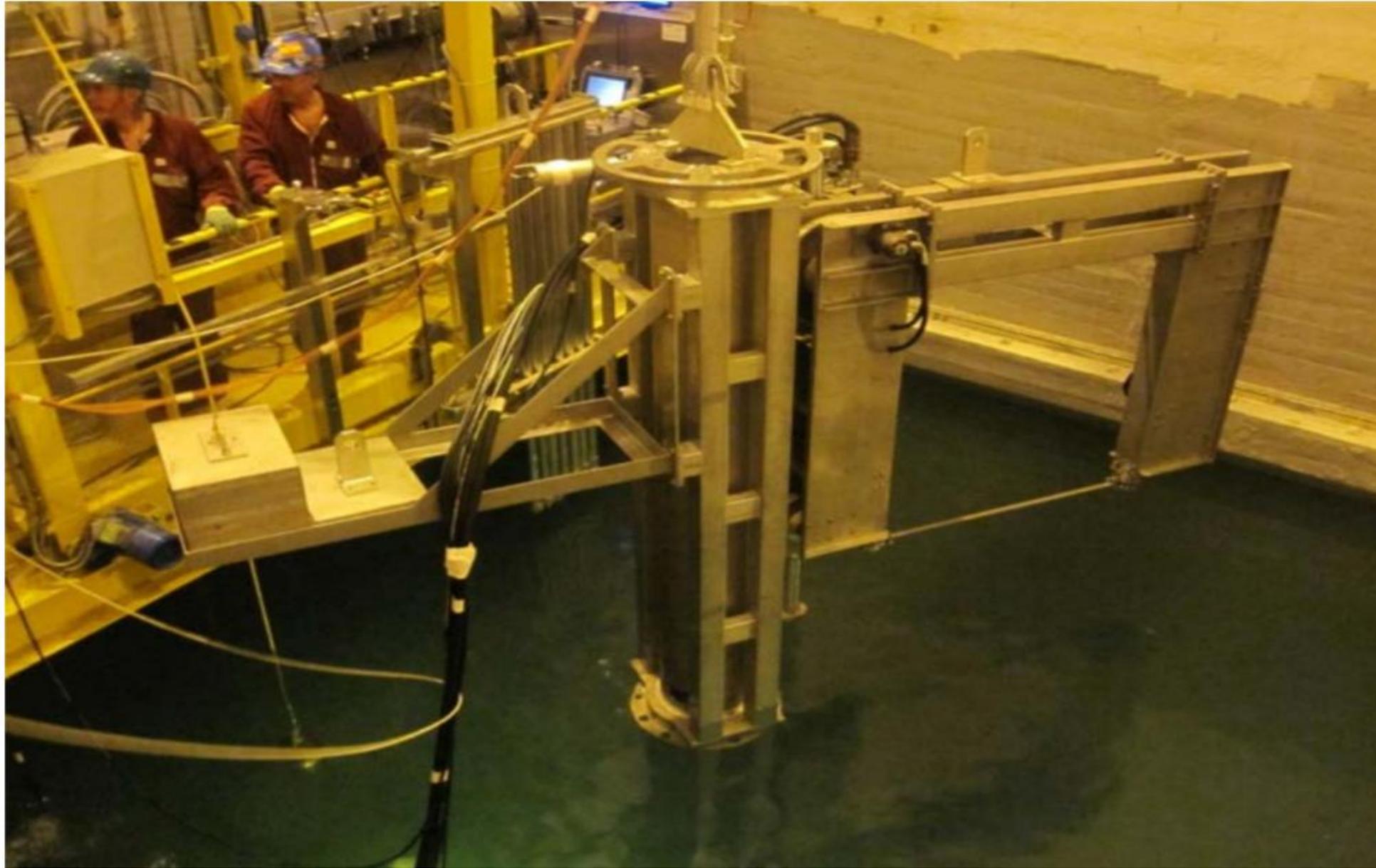
- CAMC (Contact Arc Metal Cutting)
- Plasma Cutting,
- Band sawing, etc



3. 拆除切割作業應用範例 3

Wet cutting area – reactor room R01.306





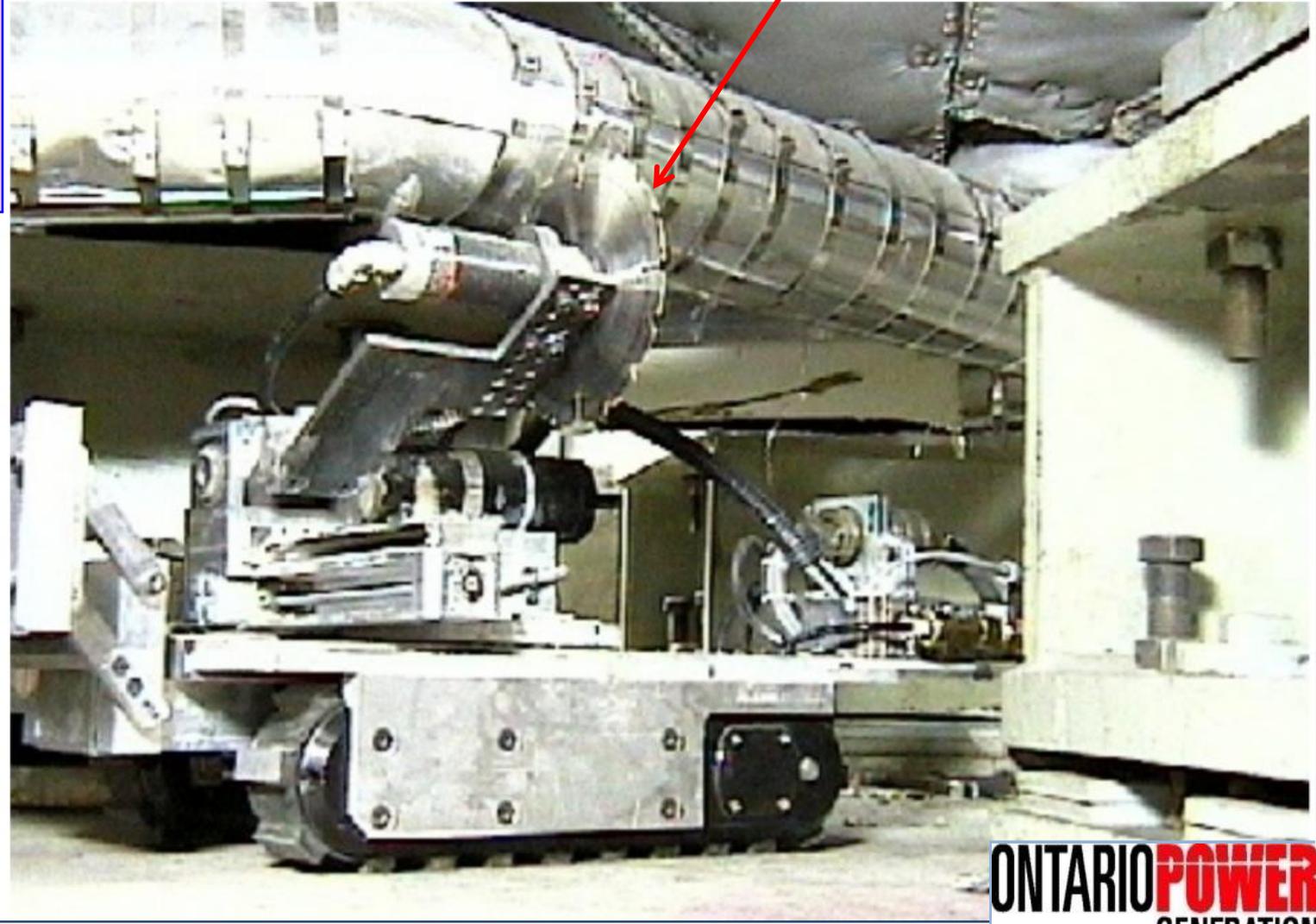
Jose Cabrera 核電廠內，橋架上的操作人員使用遙控器將切割帶鋸放到乏燃料池中反應器壓力槽的內部，切鋸將進行預先設定位置的垂直或水平方向切割。EPRI 正在開發一個系統，使這一切割過程自動化，這樣作業人員就不需要在場。

3. 拆除切割作業應用範例 4

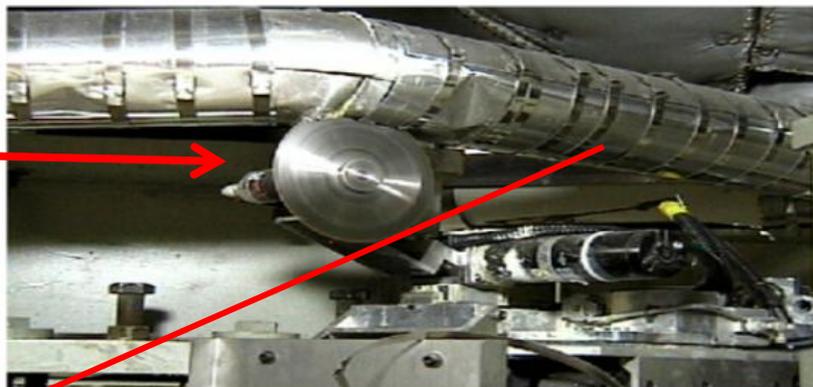
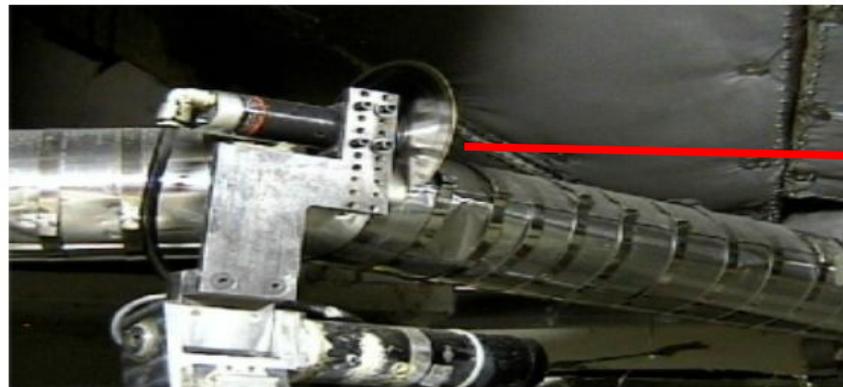
- Insulation Removal Robot

切割刀具

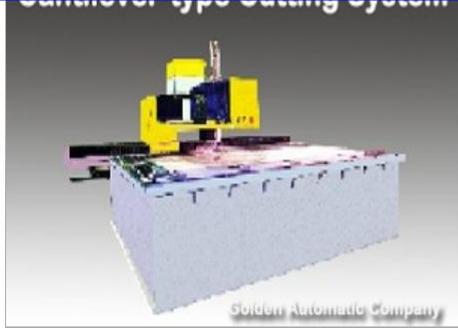
具危害性
保溫棉的
清除



具危害性保溫棉的清除



3. 拆除切割作業應用範例 5—水刀



■ 懸臂加砂水刀切割系統



■ 水刀五軸切割系統



■ 機器手切割系統



■ 龍門加砂切割系統

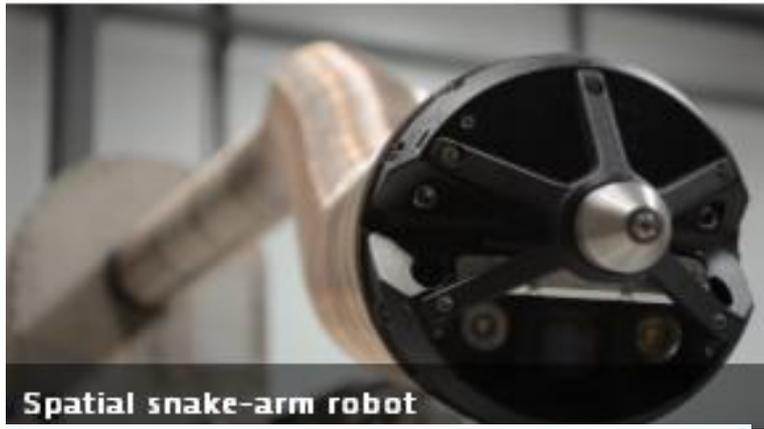
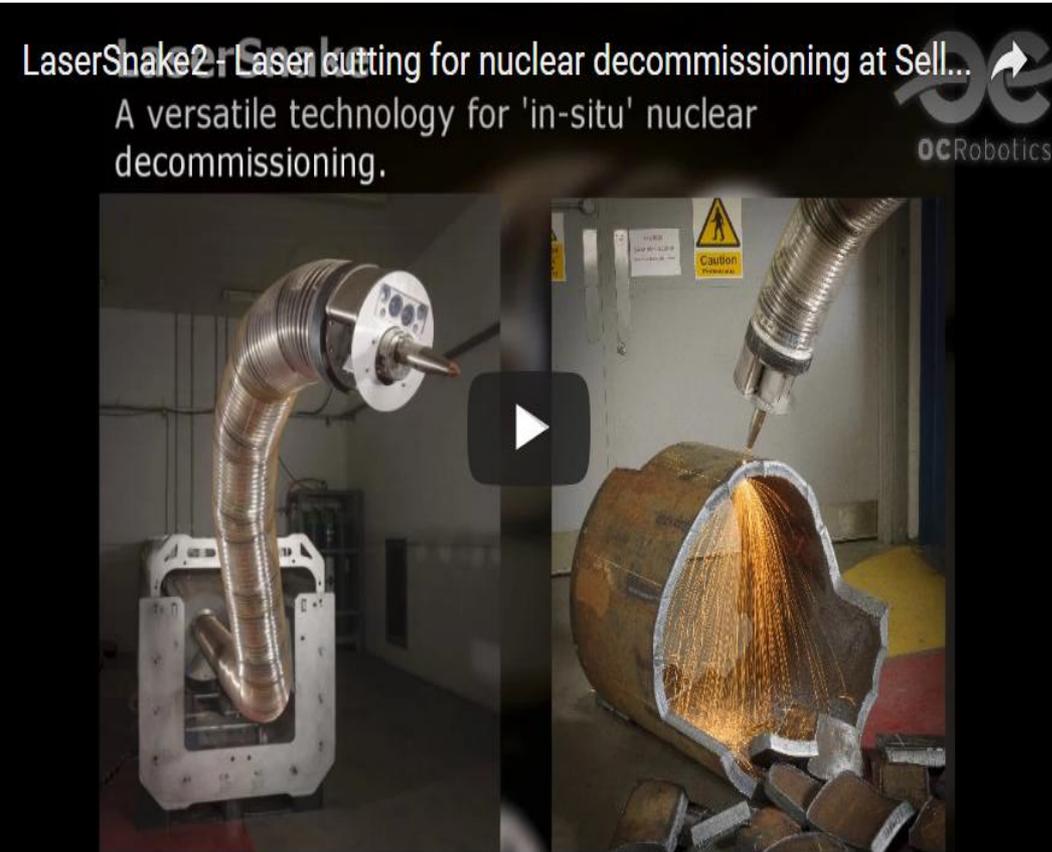


最終極的切割設備
水刀的獨特能力可切割幾乎任何材料, 它是讓您順利完成任務的最佳工具。

福祿遠東股份有限公司
+886-3-577-2102 ext. 288
新竹市科學工業園區研發一路9號2樓

金正達科技有限公司
苗栗縣頭份鎮東田街20號
Mail: gac@gac.com.tw
Tel: 886-37-612685
Fax: 886-37-621131

3. 拆除切割作業應用範例 6--LaserSnake



Laser Snake 機器人系統是由 OC Robotics and TWI 共同發展，證明可使用在除役現場執行多功能任務。

此系統機具的運行證明結合 機器人遙控 laser-cutting 技術的價值，於執行除役任務在危險密閉的空間，更快更有效。

(OC Robotics, contactus@ocrobotics.com)



英國 Winfrith 核子設施研究站的Dragon高溫氣冷式反應器高放射性的爐心內，已裝上了用於**雷射切割的機器蛇**。負責管理 Winfrith 廠址除役計畫的 Magnox 公司，委託承包商**OC Robotics** 來協助拆除直徑 40公分的PGPC槽，該槽連接到Dragon反應器的爐心。

PGPC槽的一端連接至反應器混凝土屏蔽牆及幾塊鋼板內的高輻射爐心區域，另一端則延伸至屏蔽牆的外側。有雷射切割元件的雷射長臂機器蛇是由OC Robotics及TWI所開發。PGPC厚重的管路、複雜的管路圖及被限制的路徑意味著必須準備兩個模組來完成完整的測試。

雷射蛇透過窄洞伸進環繞在Dragon爐心外3公尺厚的混凝土屏蔽牆，並在**三小時內**將PGPC完整切除。**切割厚達400mm**且內部幾何複雜的PGPC槽。

(World Nuclear News, 2018/05/04 , " Robots get smarter to help with decommissioning")

已測試證實a snake-arm robot配備強大的**laser**能夠容易切割
40mm thick的鋼板
Laser cutting results
TWI Ltd demonstrated the laser cutting process capabilities to dismantle:
• Thick walled pipes, from one side
• 304 stainless steel plate up to 25mm thick
• C-Mn steel plate up to 50mm thick
• Concrete slab up to 87mm thick

New three-year, £7.7 M effort will develop laser-equipped robots to help decommission nuclear facilities.

13 Jun 2013

The second phase of “**LaserSnake**”, a UK project working to develop high-powered laser cutting systems and robots for remote nuclear decommissioning, is under way.

The aim of the new three-year effort, which has a total budget of **£7.7 million**, will be to produce larger versions of so-called “**snake-arm**” robots, equipped with **high-power fiber lasers** to cut and treat contaminated materials.



LaserSnake2

該系統可以通過小的穿孔道，同時保持靈活性和操作工具部署，進行除役切割作業。這一創新系統2016年6月已在塞拉菲爾德現場進行測試

研發團隊包括：ULO Optics, Laser Optical Engineering and the National Nuclear Laboratory 等共同合作，使新技術適合核能工業需求

The project is to **receive grants of £5.8 million** from a combination of the TSB, the UK’s Department of Energy and Climate Change (DECC), the Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC) and the Nuclear Decommissioning Agency (NDA).

LaserSnake2 將發展出兩種類型的機器人--一個用於開放空間，一個用於密閉空間 這種方法將提高操作安全性，減少除役時程和成本



高鐳射切割非常適合不同種類的機械手（蛇形機械手）進行遠端作業。

這意味著，在除役作業上，高值雷射光源可以遠離任何活動的區域定位，因為它的裝備是空間相對較小的，因此可以在不同的位置上使用

Brokk 250

各式效能機具



Brokk End Effectors



Concrete Crusher



Bucket



Grapples with rotator



Breaker Hammer



Scabbling

the “Brokk” type 遠程拆除機資料

項 次

遙控拆除機

注 說

人力需求

1 operator

再加上處理廢料所需的人員

設備費用

根據型號不同而異

處理能力

能夠拆除牆壁厚達0.9米(3 feet)

使用 Brokk設備也可以處理更大的厚度

使用瑞典Brokk150 拆除3英尺厚鋼筋混凝土結構處理能力約為每天4.5 m³

公用設施需求

電源供應器需配合機型. Brokk330電力需30千瓦

重量

Brokk 40 - 380 kg, plus max attachment weight 60 kg

Brokk 90 - 980 kg, plus max attachment weight 140 kg

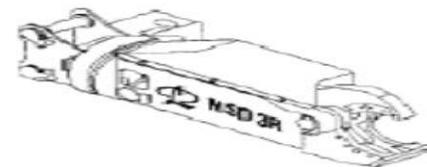
Brokk 180 - 1,900 kg, plus max attachment weight 230 kg

Brokk 330 - 4,400 kg, plus max attachment weight 550 kg

二次廢料污染廢料物以及液壓軟管、濕巾等。

Contact

Brokk Sweden www.brokk.com



5. 放射性物質的遠端檢查作業範例

Measurement of waste package – nuclide specific measurement

Drum measuring

One HPGe detector – scanning system

Measuring before sending to disposal site at NPP Dukovany

Czech Republic



六. 機器人的使用、操作及維護考量

1. 機器人的使用考量
2. 機器人危害預防標準
3. 維護考量

六. 機器人的使用、操作及維護考量

1. 機器人的使用考量

- 實行實物(Mock-Up)模擬測試是高危險性放射工作過程的要求一部分
- 確認工作計畫可以執行
- 工作人員在危險性放射工作過程的協調位置
- 攝影像機位置和視野角度與作業功能的合適性
- 工作過程的可監視性
- 能協助提供說服管理團隊和監管者，機器人作業方法是最好的方式

2. 機器人危害預防標準

本標準依職業安全衛生法第六條第三項規定訂定之(詳細計有36條規定)

● 機器人應具備下列機能規定：

- 一、從運轉狀態變換為教導狀態時，可自動降低操作機之動作速度。
- 二、如操作機可調整者，從運轉狀態變換為教導狀態時，可自動降低其輸出
- 三、遇下列狀態時，可自動停止動作，並設置指示燈：
 - (一) 因油壓、氣壓或電壓之變動，有發生錯誤動作之虞時。
 - (二) 因停電等致動力源被遮斷時。
 - (三) 因關連機器發生故障時。
 - (四) 因控制裝置發生異常時。

● 雇主選用機器人時，應採取避免下列危害之措施：

- 一、錯誤操作、錯誤動作及故障時引起之危害。
- 二、動力源異常引起之危害。
- 三、因人、物之進入可動範圍引起之危害。
- 四、關連機器故障引起之危害。
- 五、設置之機器人，應具有發生異常時可立即停止動作並維持安全之緊急停止裝置。

另外，美國OSHA Instruction PUB 8-1.3 SEP 21, 1987 訂有：

Guidelines for Robotics Safety

american national standard

ANSI/RIA R15.06-2012

for Industrial Robots and Robot Systems —
Safety Requirements



3. 維護考量

- 1). 機器人發生故障時, 需備有可自行移動至非高輻射工作區域, 以利於維修作業
- 2). 機器人不操作時, 需盡可能將其移動至非高輻射工作區域放置, 以利延長使用壽命
- 3). 機器人外殼(含載運系統)設計需盡可能便於污染時除污
- 4). 機器人組件裝置設計需考量便於維護替換

七. 機器人的選擇考量

機器人是必須在高輻射和受污染的環境中證明其可操作性。

通常它們必須符合下列標準：

- 提供在核應用技術和高可靠性服務的論證。
- 機器人載重需能安穩支撐操作機具及活動。
- 使用衝突解決程式而不是編碼器。
- 在遠端操作和方案模式下操作，具有力回饋、分區和避免碰闖功能。
- 高精準度和重複性。
- 可進行 3D 機器人和環境的即時模擬。
- 具良好技術支援的設備供應商。

配合不同操作機具及活動功能需求，須考量多組合機器人，以充分發揮功效

八. 機器人的設計

- (一). 設計和測試規範標準
- (二). 耐輻射方面
 1. 耐輻射電氣絕緣電線電纜材料
 2. 耐輻射相機鏡頭
 3. 核能級控制器中的高抗輻射電路設計
 4. 耐輻射潤滑油
- (三). 運作系統裝置功能方面
 1. 功能操作系統裝置
 2. 載運系統裝置
 3. 操作機具控制模式
 4. 緊急應變用輻射偵測裝置

八. 機器人的設計

(一). 設計和測試規範標準

核能用機器人的規範、標準和要求

- Quality Assurance, DOE Order 414.1C, ASME NQA-1
- ASCE 4, Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures
- DOE-STD-1021-93 - Performance Category (PC) Guidelines
- DOE Order 420.1C, Facility Safety
- DOE-STD-1189, Integration of Safety into the Design Process
- ANSI/ISA 84.00.01 Safety Interlock (SIL) Level 2 calculations for electrical
- ANS Design Guide for Radioactive Material Handling Facilities & Equipment (1988)
- ANSI/RIA R15.06, Industrial Robot Safety Requirements
- ANSI/RIA R15.05-3, Industrial Robot Acceptance Testing
- NEMA MG1, Motors and Generators
- NEMA 250, Enclosures for Electrical Equipment
- NFPA 70, National Electric Code
- NFPA 79, Electrical Standard for Industrial Machinery
- IEEE 383, Class 1E Electric Cables
- ASME NOG-1, Rules for Construction of Overhead Cranes
- AWS D1.6, Structural Welding Code
- OSHA 29 CFR Part 1910.303 safety evaluation for non listed devices

ASTM will continue to work with federal agencies and industry groups to develop programs to evaluate:

1. Test Facilities
2. Robots
3. Operators

(二). 耐輻射方面

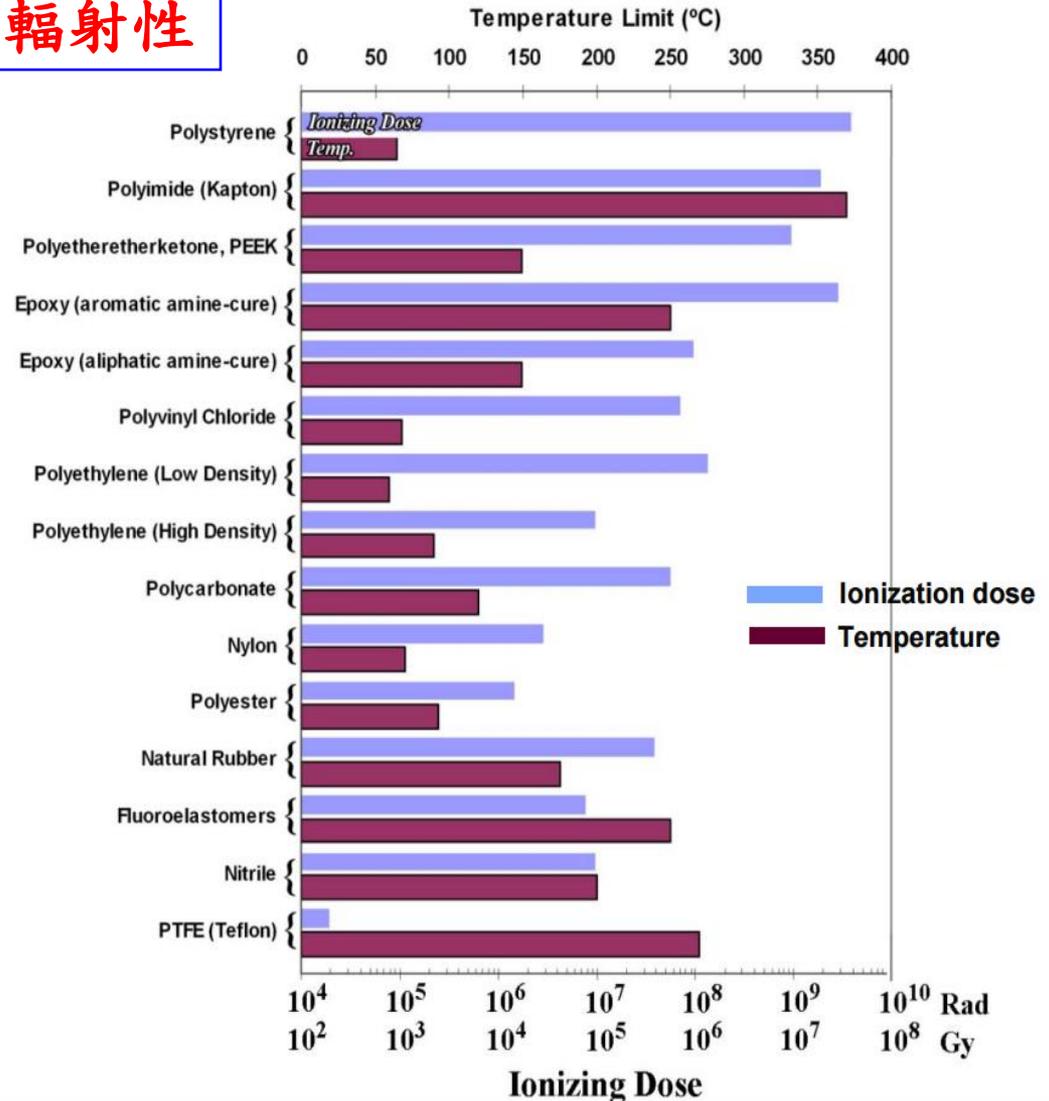
傳輸電纜線材質需能耐相當輻射性

Radiation tolerant polymers and corresponding breakdown strengths for 0.125" sample thickness

Polymer	Breakdown Strength (V/mil)	Maximum useful radiation does (Gy)
PS	500	5×10^7
PI	560	2×10^7
PEEK	480	1×10^7
PC	380	6×10^5
Nylon	300-400	2.5×10^4

PS: polystyrene; PI: polyimide; PEEK: Polyetheretherketone; PC: polycarbonate; nylon: polyamide

(Robert Duckworth, **Radiation Resistant Electrical Insulation Materials** for Nuclear Reactors Using Novel Nanocomposite Dielectrics, ORNL, August, 2013)



1. 耐輻射電氣絕緣電線電纜材料

Radiation Resistance definition from IEC 60 544:

for flexible plastics and elastomers in normal conditions, the most restrictive property is usually the strain or stress at break.

The usual endpoint criteria used to determine the «**radiation resistance value**» is then associated to the **loss of 50%** of the initial strain or stress at break of the material.

Note that this does not necessarily refer to an end-of-life condition, especially for materials with high initial strain at break (>200%) including TPU, ETFE, crosslinked or uncrosslinked polyolefins.

Radiation Resistant Wires and Cables for Nuclear and Scientific Applications



Axon' Cable has developed a range of single wires, multi-cores wires and cables which resist to radiation and high temperatures. Insulated with different materials including ETFE, special thermoplastic compounds, crosslinked polyolefin (XLPE/XLPO), polyurethane (TPU) and polyimide (taped or TPI extruded), they meet the severe requirements of scientific and nuclear applications. They can be used as instrumentation, control and sensor cables in nuclear plants or in particle detectors.

需測試符合 **IEEE383** 抗輻射標準

© 2010, AXON' CABLE - RELEASED NOVEMBER 2016/ E AXORAD : RADIATION RESISTANT CABLES FOR SCIENTIFIC AND NUCLEAR APPLICATIONS, –

www.axon-cable.com

Radiation resistance, temperature resistance and Halogen free, LSZH behaviour

	RADIATION RESISTANCE (*)		TEMPERATURE RATING (°C)	HALOGEN FREE LSZH
	IN STANDARD ATMOSPHERE	IN INERT ATMOSPHERE		
TPI - EXTRUDED POLYIMIDE	2000 Mrad (20 MGy)	7000 Mrad (70 MGy)	240	YES
TAPED POLYIMIDE	1000 Mrad (10 MGy)	5000 Mrad (50 MGy)	250	YES
NEUTRAX (PAEK BASED)	500 Mrad (5 MGy)	1000 Mrad (10 MGy)	240	YES
POLIAX	300 Mrad (3 MGy)	600 Mrad (6 MGy)	135	YES
TPU - THERMOPLASTIC ELASTOMER	100 Mrad (1 MGy)	200 Mrad (2 MGy)	125	YES
PE/PO and XLPE/XLPO based	50 Mrad (500 kGy)	100 Mrad (1 MGy)	100	YES
ETFE	10 Mrad (100 kGy)	300 Mrad (3 MGy)	155	NO

***limits based on IEC 60544 - worst case scenarios (gamma + low dose rate) and end-point criteria (-50% strain or stress at break).**



胜牌电线电缆公司
SHENPAI CABLE CO.,LTD

首单包邮

¥207.00

胜牌电线厂家 UL3302-22A 阻燃 低烟无卤 抗辐射电缆 PE线材

东莞市胜牌电线电缆...

阻燃电缆 阻燃电线 胜牌电线

1220商人节



¥0.42

进口无磁性发热电缆 双导发热电缆 单导发热电缆 低辐射发热电缆

蓝为新能源科技 (...

1220商人节



无氧铜 无铅芯 足米足粗 层层检测

¥297.00

【远志高温线缆】耐老化耐辐射硅橡胶电缆6.0mm284/0.30

江苏银锡高温线缆...

1220商人节



¥1.00

光伏电缆 太阳能光伏电缆线 室外专用 耐高温辐射

启源电气股份有限...

1220商人节



¥3.65

太阳能发电站 光伏发电 防辐射电缆 TUV光伏认证线缆

大征电线有限责任...

1220商人节



镇江... 有限公司

jxdz09.1688.com



上海津昇电线电缆有限公司



成佳电缆
东莞市成佳电线电缆有限公司

2. 耐輻射相機鏡頭

AHLBERG CAMERAS

HI-RAD XS

EXTRA SMALL HD PTZ-CAMERA

HI-RAD XS is an extra small 720p HD PTZ color camera. It has x10 optical zoom and built-in pan& tilt functions.

HI-RAD XS 用於高輻射區的水下檢查，需要高真實性的顏色顯示和較高的清晰度解析度。

APPLICATION

- For inspections where superior color rendition and high definition resolution is needed, e.g. **fuel inspections and inspection of internal parts**
- For inspections of **large surfaces** where frequent auto re-focusing is required, e.g. **at core mapping**
- Ideal for use in high radiation areas **with limited space**

Ahlberg Cameras AB is a **Swedish** high-tech company that designs and manufactures advanced color camera systems and inspection equipment for the nuclear industry.





2016 Mirion Technologies acquired **Canberra** in an effort to bring two very similar, long time industry leaders together.

Radiation Tolerant Cameras

The Mirion IST-Rees brand With a comprehensive range of products to suit all applications in every part of the Nuclear fuel cycle, **Mirion** is able to offer standard or customized solutions to meet customer needs and expectations.

- **高(H)輻射總累計伽瑪劑量限額 > 5 x 10⁶ R**
- **medium(M) radiation tolerance icon Total cumulative gamma dose between 10⁴ and 5 x 10⁶ R**
- **低(L)輻射總劑量可達 10⁴ R**

1Sv (西弗) = 100 R (倫琴)

R93 HIGH RADIATION CAMERA



R942 CAMERA SYSTEM



R940 COMPACT NUCLEAR ZOOM CAMERA



R941 HIGH RADIATION ZOOM CAMERA



R985 RADIATION TOLERANT SINGLE UNIT CAMERA



R950 ALLRAD MK2 CAMERA SYSTEM



R981/C981 SYSTEM CAMERA



R981/C981 COMPACT SYSTEM CAMERA



SC985 COMPACT COLOR SHIELDED CAMERA MODULE



RC911 DOTCAM-HR



RC720 HD-RAD CAMERA SYSTEM



S983 SHIELDED SYSTEM CAMERA



C983 SYSTEM CAMERA



RC913 MINI-PTZ CAMERA SYSTEM



C911 DOTCAM



<https://www.visatec.net/en/>

Search...

Cameras

Lighting

ROV and Crawlers

Laser Scanners

Retrieval tools

Accessories

Our services

eras

VT RC2 radiation resistant inspection camera



VT RC2 是一緊密、耐輻射的鋁外殼視頻攝影鏡頭

它的 CMOS 感應器非常堅固，使相機能理想的應用在惡劣的環境下進行檢查和監測，如在核電廠應用於放射性環境中量測 α ， β 和伽瑪射線



Cameras



Lighting



ROV and Crawlers



Laser Scanners



Deployment tools



Retrieval tools



Text inserters



Control units



Software



Cabling



Remote controls



Recorders / Monitors

Latest News

Case studies



RAD - CAM RADIATION PROOF CAMERA

(Gridbots Technologies Private Limited)

RAD CAM is a Radiation proof camera and can take high level of radiations up to **1000 Rads .**
 This camera consists of a **CCD sensor** with radiation hardened enclosure and **electronics.**
 The system comes **with 10 meter radiation hardened cable** which can be extended as per user requirement.
 The system comes **with a fixed and zoom lens options**
 The system has **global shutter and automatic radiation isolator built in.**
 The system provides a mechanical shutter and sampling rate from 1 to 30 FPS.

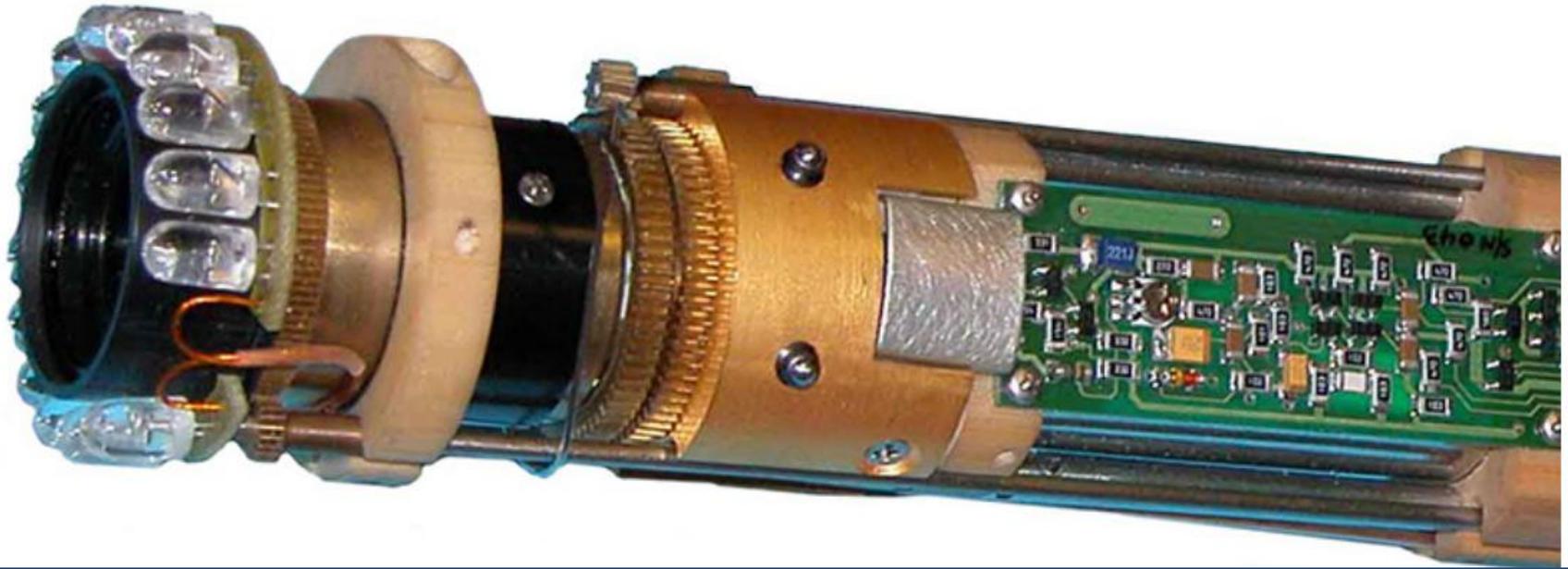
SPECIFICATIONS

Model Number	GB RAD CAM 1000
Radiation Tolerance	Upto 1000 RAD
System Weight	3 Kg
Dimensions	300x125 mm[LengthxRadius]
Resolution	512 TV Lines
Minimum Illumination	30 Lux
Power	20 V D.C. - 1 Amps
Sensor System	CCD
Temperature	0-65 Degree Centigrade
Lens	Fixed/Varifocal Options
Supplided Cable Length	10 Meters (Radiation Hardened)

$$100 \text{ RAD} = 1 \text{ Gy}$$

$$= 1 \text{ Sv}$$

Resolve Optics Ltd. reports that it has supplied a number of non-browning zoom lens to Custom Cameras Ltd (Wells, UK) to enable the company to supply fully integrated radiation tolerant camera systems for monitoring applications in the Nuclear industry.



所有Resolve Optics radiation resistant (Non Browning) lens元件可提供解決光學抗輻射（非褐變）透鏡設計，是使用氧化鈾摻雜玻璃或合成二氧化矽使他們能夠承受長期輻射曝露劑量高達100,000,000 R和溫度到55° c 不變色或退化。

所有解決光學防輻射鏡片提供高圖像解析度和最小幾何失真從400到 Model 357 HD 10x 變焦鏡頭可提供在高輻射環境下運作，如核燃料處理，反應器壓力槽區域和核廢料儲存廠¹⁰⁶

3. 核能級控制器中的高抗輻射電路設計

最簡單的方法，就是直接將核心系統遠離核輻射的範圍，運作的機械零件，暴露在輻射，但相關的電子產品保護，在一個沒有輻射的地區，再利用線材將兩端連起，這技術非常有用當電子系統可以遠離或者切割。而其中要特別注意的是連線的線材，數量以及長度。因為在線上通過的訊號很可能受到雜訊的干擾造成錯誤。現在許多機器人都是使用此方法，因為確實可以防止控制端之電子元件遭受輻射干擾，但因為纜繩會造成機器人的行動不方便，所以這也是積極發展的部分，但即使先進的機器人還是沒有解決此樣問題。

抗輻射設計:一個抗輻射設計，不代表他元件可以完全抵抗輻射

抗輻射設計，不代表元件可以完全抵抗輻射所造成的影響，但是對於整個系統來說，卻可以抵抗輻射所造成的影響，使得系統受到輻射時，系統可以穩定的操作。其中最常使用的方法為回授，利用偵測並且回授，達到系統穩定的操作，對於線性系統可以利用操作放大器來達到回授的效果。

抗輻射電路設計實例

3.1. A MSFT with TMR Technique

此電路設計，最主要抗輻射概念為Triple module redundancy，而主要實現的電路為乘法器。此設計 MSFT分乘數操作分為多個階段，並採用單一的處理單元（PE）的實施主要的運算，而 PE的部分利用複製三份的做法達到 TMR的結果。要落實 MSFT乘數，提出了四個系統的步驟：

- 1) 選擇的主要組成部分，實施 TMR - PE
- 2) 分割成一個多級結構。
- 3) 根據第二步驟所選，設計 pre-PE，TMR-PE，voter。
- 4) 最後利用兩個 2L長的暫存器儲存，並利用 CPA做加法得到結果。

3.2. Novel Inverter

此設計主要針對 SEU與 SET之防範而設計，並且不使用TMR的情況下達到面積較小且設計較容易的容錯反相器。抗輻射觀念主要為透過輸出電壓回授給予前方，得知利用何種電流去控制輸出，使得輸出不容易受到輻射之干擾造成錯誤。設計流程:上方之反相器 P型較大，N型較小；下方之反相器 P型較小，N型較大。

運作方法:

- 1) 當輸出為高時，開啟上方之反相器，使得輸出比較不容易偏向低
- 2) 當輸出為低時，開啟下方之反相器，使得輸出比較不容易偏向高

4. 耐輻射潤滑油

潤滑劑遭受輻射“過量”暴露會導致稠化和聚合，顏色變暗，氧化和降低功能。
附表列出的產品，可提供耐輻射暴露潤滑的應用。

Product	Chemistry	Temperature Range (°C)	Characteristics	Applications
SYNRAD 1252	Sodium soap thickened, alkylated aromatic hydrocarbon grease	-30 to 175	Rust inhibited, NLGI Grade 2	Bearing and gearing applications where radiation exposure is possible
SYNRAD 1251	Sodium soap thickened, alkylated aromatic hydrocarbon grease	-30 to 175	Rust inhibited, NLGI Grade 1	Bearing and gearing applications where radiation exposure is possible
NYOGEL 775D	Silica thickened, phenylmethyl silicone grease	-54 to 200	Heavy viscosity	Mechanical instruments requiring minimal viscosity change over a wide temperature range
NYOGEL 718B	Silica thickened, polyphenyl ether grease	4 to 260	Very stiff, medium viscosity	Instrument and slow speed bearings exposed to very high temperatures or radiation
UNIFLOR 4622R	PTFE thickened, completely fluorinated grease, non-hydrogenous material	-20 to 260	Heavy viscosity	Severe service bearings and mechanical devices where good film strength is needed at high temperatures and/or fuel or chemical resistance is required
Nye Lubricants, Inc. Ph: +1.508.996.6721	12 Howland Rd., Fairhaven, MA Fx: +1.508.997.5285		02719 USA	

本產品適合用在與原子能設施有關的機械組件的潤滑劑，如快中子增殖反應器和輕水反應器廠的設備、60Co γ 射線輻照設施、遙控設備、電子加速器和用於後處理工廠的機器

產品總種類

MORESCO HIGREASE

<u>Product No.</u>	<u>kinematic viscosity</u> mm ² /s (40°C)	<u>Appearance</u>	<u>Consistency</u> (25°C)	<u>Dropping point</u>
GK-1		Grayish black	325	250°C or more

MORESCO-HIRAD

<u>Product No.</u>	<u>kinematic viscosity</u> mm ² /s(40°C)	<u>Appearance</u>	<u>Consistency</u> (25°C)	<u>Dropping point</u>
RG-42-1			325	300°C or more
RG-42S-1			325	300°C or more
RG-42R-1			325	300°C or more

(三). 運作系統裝置功能方面

1. 功能操作系統裝置

機器人在除役作業的功能使用所夾載的機具要求特性是有很大差異。如：

- 1). 輻射度量儀器是不同的形狀樣式及重量；
- 2). 除污要求是以機械鏟除或化學噴洗的技術工具；
- 3). 拆除要求是視設備組件不同樣式形狀及材料以各式各樣切割工具來減小體積；
- 4). 廢物管理要求則是以爪具操作；
- 5). 功能使用的機具要求顯示與標的物距離數據時需配置雷射或激光測距儀。

因此工作任務的範圍需要一系列工具，而工具的選擇也並不簡單，必須系統化考量設計及妥善搭配組合

2. 載運系統裝置

除役作業處理通常是對於輻射設施廠房、製程設備和組件結構的拆除與物料的減少措施，主要工作是移除，剪切，鑽除或粉碎設備組件成為小件物料或廢物，包裝為安全的廢物形式。這些作業是需要處理核設施中的厚重鋼材、厚重鋼筋混凝土和雜項物料。運用機具備需要具有高功耗的高動力機械。

如前所述，除役機器人進入作業場所，很可能需要能夠繞過密集的機械設備之間的狹窄的柱子障礙物，在不平坦的地形上導航，因此，也不適合大型的外觀裝置設計，同時需要保持操作工具配置的靈活性。

80米雷射測距儀

- 內建360度斜度感應器，具角度測量
- 大型可翻轉顯示螢幕，使用更方便
- 內建鋰電池，電力更持久
- 角落指針適用各方位測量
- 20組測量值記憶及1參數設定

雷射測距儀 其基本原理是，向待測距的物體發射雷射脈衝並開始計時，接收到反射光時停止計時。這段時間即可以轉換為雷射器與目標之間的距離

品名：BOSCH 30米雷射測距儀-GLM30
貨號：016080173
產品尺寸：長 10.5 x 寬 4.1 x 高 2.4 (公分)
重量：0.1kg
測量範圍：0.15 - 30 m
測量精確度：± 2 mm
最小測量距離：0.1 mm
雷射等級種類：Class 2 635 nm

注意：Laser Lamps 的 glass tube 也有耐輻射要求

毫米級 精度

傳創新一代測距儀橫空出世，最大誤差精確到毫米級，更有多重人性化設計，為測量而生

第4代
激光測距儀



±1.0mm

最大誤差低至

品牌：SNDWAY/深达威 型号：SW-M40/M60/M80/M100
測量范围：0.2-40米/60米/80米/100米
精确度：1.5 (mm) 工作电压：3 (V)
重量：125 (g) 尺寸：112*50*25 (mm)

台中雷射技術應用中心
台中市沙鹿區南陽路270號

3. 操作機具控制模式

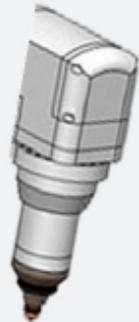
切割操作



機具夾具



機具操作



Plasma

Laser

機具操作

3 Control Modes

MS

Master Slave Control

SC

Speed Control on
C.Co-ordinate Control

Goto

Quick Teach & human
interactive **play-back** Control

4. 緊急應變用輻射偵測裝置

福島的事故應急經驗已得知，在反應器廠房的輻射劑量率約為幾十到數百毫西弗，**緊急應變機器人的機動性**顯示出很重要，此因機器人是**很急迫的**被要求運送到事故現場協助檢查相關作業。

日本原子能研究所(JAEA)深切認識到在福島事故後反應器廠房內伽瑪射線成像和測量數據資訊的獲取成為首要性工作要求。因此，決定修改原設計機器人，對於新機器人設計上需配備“伽瑪眼”的功能並要能提供量測資訊，同時操作儀器要能更小更輕巧的安裝在小型檢查機器人上。

對於新機器人系統功能需符合如下要求：

- 1) 將系統的附屬設備劃分為單位，且**維持每個單元少於 20kg**。
- 2) 減少連接器和工具的組裝。
- 3) 使用電池模組。
- 4) 為遠端遙控操作增設加監視攝影機具。

<u>Unit No.</u>	<u>Contents</u>	<u>remarks</u>
1	JAEA-3 robot Surveillance Camera	Equipped with “gamma eye” Picture was showed in monitor on unit 2
2	Controller	Include two 12 volts lead batteries and a DC/AC inverter.
3	Cable	Consists of multi-line cable, a twist pair cable and a stainless steel wire.
4	Battery module	Consist of two 12volts lead batteries and DC/AC inverter.

組件設計考量方面

1. 機器人配備有防水的電纜法蘭，正常拆卸螺栓用蝶形螺釘代替，操作員可用橡膠手套處理。
2. 所有連接器重新組裝，是不需要使用手工工具。
3. 蓄電池(固態電池如鎳氫)模組應能承受馬達的浪湧(surge)電流，並能方便充電，能量需符合伽瑪偵測儀和監控攝影機的輸入電源要求。

(Reconstruction of JAEA robots for the Fukushima NPP accidents emergency response

- Unitizing for conveyance and reassembly at the confused area by accidents -
Shinji KAWATSUMA, Japan Atomic Energy Agency(JAEA), awatsuma.shinji@jaea.go.jp
Ryuji MIMURA, JAEA, Fumihiko KANAYAMA, JAEA, Koji NAKAI, JAEA)

The results of robot experiments

<u>Key Technology</u>	<u>Test Contents</u>	<u>Experiments</u>	<u>Results</u>	<u>Design Requirements</u>
Volume	Length(mm)	670		≤800
	Width(mm)	520		≤600
	Height(mm)	170		≤300
Mass	Net weight(kg)	28.4		≤30
	Deadweight(kg)	30		≥10
Manipulator	Arm extension(mm)	1000		≥1000
	DOF	5		≥3
	Maximum grab weight(kg)	3		≥3
Working time	Continue working time	3		≥2.5
Nuclear radiation Detection	Measuring range	0.1uGy/h~10Gy/h		10Gy/h
	ccuracy	0.1uGy/h~100uGy/h:±30% Over 100uGy/h: ±10%		--
Ground Adaptability	Speed(m/s)	0~1.2		0~1
	Local path planning and obstacles avoidance	Yes		-
	Maximum angle of climbing stairs	45°		≥40
Environment	Ground adaptability	Sand, lawn, mud and rubble		-
	The number of cameras portable	4		≥2
Perception	Environment sensors	Yes		-
GPS		Yes		-
Remote Terminal	Control distance(m)	5000(Open area) 1750(City area)		≥1000
Telepresence	Yes	-		-
The use in condition of wearing	protective clothing	Yes		-

Inspection Robotics of FAST RVI

Dimensions	Length 250 mm (9.9") x Width 490 mm (19.3") x Height 160 mm (6.3")	
Weight (without cables)	9.3 kg (20.5 lb) without camera	
Payload	15 kg (33 lb)	
Speed	fully adjustable, max. 60 mm/s (2.3"/s)	
Drive units	2 integrated drives with 48V brushless DC motors	
Power Supply	48V via umbilical cable from external supply station	
Protection class	IP65	
Motor controller	inspection robotics motor controller	
Communication	Gigabit Ethernet	
Cable length	40m (131ft) standard, longer on request	
Supply Station		
Control	Built-in touchscreen and industrial Joystick	
Power Supply	100-240 V AC 50/60Hz, max 200W	
Dimensions	Length 340 mm (13.4") x Width 350 mm (13.8") x Height 130 mm (5.1")	
Weight	14kg (31lb) without cabeling	
Content Basic Set		
FAST RVI robot in a rugged transport box	comes with full software package	
Supply Station - built in a rugged hard shell box	all power & communications cable included, software pre-installed	
40m cable from supply station to robot	longer cables available on request	
Optional		
Pan-Tilt-Zoom Camera	High End Main Inspection Camera	
manway camera	to be positioned at the entryway, navigation aid	
top view camera	camera with strong LED lights for navigation	

結語與建議

- 在核電廠高輻射區域進行相關作業，為工作人員安全及時效性考量，充分借重機器人已獲得很好的驗證
 - 選擇正確的機器人系統裝置組成是成功的關鍵
 - 設計時，從最簡單的概念開始，並仔細添加功能，直到滿足
 - 在機器人技術方面，核市場具有獨特的需求和解決方案
- 兩岸工業機器人廠商公司(如附錄)，若能致力運用手中的資能，再自行或找尋合作夥伴補足，創造競爭優勢。必然可開展公司新長相！為建立自主技能，建議積極推展下列措施：
 1. 系統化商情搜集
 2. 成立專案小組開發完整技術，並申請科專計畫，以獲取開發補助經費
 3. 接洽核電廠或舉辦研討會：說明利用機器人的需要性

結語與建議

- 核應急機器人非屬規格產品，所以需要購買兩方商討：
 1. 機器人的**運作功能系統**要求組成為何？
 - 1.1. 功能操作機(如可夾載輻射量測儀器, 除污機具或切割工具和載重)
 - 1.2. 機械手臂
 - 1.3. 機器人載運系統
 - 1.4. 控制系統
 2. 機器人在運維作業**應用目的**為何？
 - 2.1. 檢查作業應用
 - 2.2. 除污作業應用
 - 2.3. 放射性物質的遠端檢查作業
 3. **系統組成組件**—相機、測距儀、電纜線、潤滑油等
耐輻射劑量的要求

附錄-兩岸工業機器人廠商資訊

系列工業機器人產品，載重從6公斤到180公斤的產品可供客戶選擇，另外也可依照客戶需求，客製化提供客戶自動化末端所需的機器手指及零件夾具



RH06



RH12



RH30



RH60

EverRobot 高負載級別的工業機器人

勤堃機械股份有限公司
臺中市霧峰區四德里北豐路33號

玉豐海洋科儀(股)公司相關產品有:水陸兩用機器人載台(包含履帶式系統)、推進器、高扭力動件馬達(Pan/Tilt Motor)與減速機、6軸機械手臂(夾取、拆卸、剪斷、刷洗、切割、鑽孔等功能)、攝像機、LED燈、防水接頭纜線、廢料與污染物回收機構、及各式環境監控感測器與載台系統的整合

產品型錄



機械手臂

切割機

鑽孔機

各式工具與刷子



SRM160A

SRM160A 工业机器人手臂



SRM300A

SRM300A 工业机器人手臂



SRB80A

SRB80A 工业机器人手臂



SRB250A

SRB250A 工业机器人手臂



SRH5B-600

SRH5B-600 工业机器人手臂



SR360A



SR360AL



SR500A



SRM13A



SRM120A



激光叉车AGV

激光叉车是新松公司根据不同...



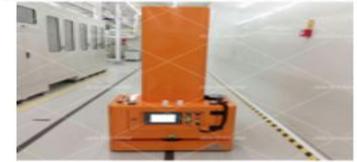
货架机器人AGV

新松研发的货架机器人实际上...



重载AGV

重载AGV主要应用于仓储、制...



洁净AGV

针对不同行业、企业的洁净环...



装配型AGV



车间物料搬运AGV



其它AGV

沈阳新松机器人自动化股份有限公司 地址：辽宁省沈阳市浑南新区金辉街16号

多軸手臂機器人



關節式機器手臂 RA605 系

關節式機器手臂 RT605 系

關節式機器手臂 RA610 系

關節式機器手臂 RA620 系

並聯式機器手臂 RD401

並聯式機器手臂 RD403

列

列

列

列

系列

系列



史卡拉機器手臂 RS403 系

史卡拉機器手臂 RS406 系

晶圓機器人

電動夾爪 X 系列

電動夾爪 S 系列

旋轉接頭

列

列



哈工大机器人集团 **Address** : 哈尔滨经开区哈平路集中区大连北路与兴凯路交口



负载能力: 150 kg
工作范围: 2.2 m
→ IRB 6620



负载能力: 150 kg
工作范围: 1.8 - 33m
→ IRB 6620LX



负载能力: 130-235kg
工作范围: 2.55, 2.75, 2.8, 3.2m
→ IRB 6640



负载能力: 125-200kg
工作范围: 3.0m, 3.5m
→ IRB 6650S



负载能力: 130 kg
工作范围: 3.10 m
→ IRB 6660 折弯



负载能力: 205 kg
工作范围: 1.93 m
→ IRB 6660 预加工

负载能力: 150-300 kg
工作范围: 2.60-3.20 m
→ IRB 6700

负载能力: 450 kg
工作范围: 3.18 m
→ IRB 760

负载能力: 150-500kg
工作范围: 3.5, 3.1, 2.8, 2.55,
2.3 m
→ IRB 7600

Nick Lin

地址: **ABB Ltd.** 5F&10F, No.18, Jihu Rd., Neihu District 11492
Taipei City



理实教仪

LS-3TA



理实教仪

LS6SA-C604



理实教仪

LS6-C604



理实教仪

LS10-C60



理实教仪

LS10L-C10



理实教仪

LS16L-C20



理实教仪

LS210-C40



理实教仪

LS370-C20



理实教仪

LS400L-C20



謝謝聆聽

請指正