

遠隔技術タスクフォース(TF) での技術検討状況について

平成24年9月24日

研究開発推進本部
遠隔技術タスクフォース

遠隔技術TFのミッション

現状の遠隔技術では困難と思われるものへの備えやTMIの事例でも強調されているように、現在進行中の計画が困難に遭遇したときの方法を予め考えておくことが重要である。そこで、研究開発推進本部の各プロジェクトの中で、実現が困難な、または困難になる可能性のある遠隔技術に対して最新の遠隔技術やソリューションおよびバックアッププランを検討、提案していくものとする。

※検討にあたっては遠隔技術の共通基盤となり得るNEDOのプロジェクトなどとの連携も視野に入れて推進

TFメンバー

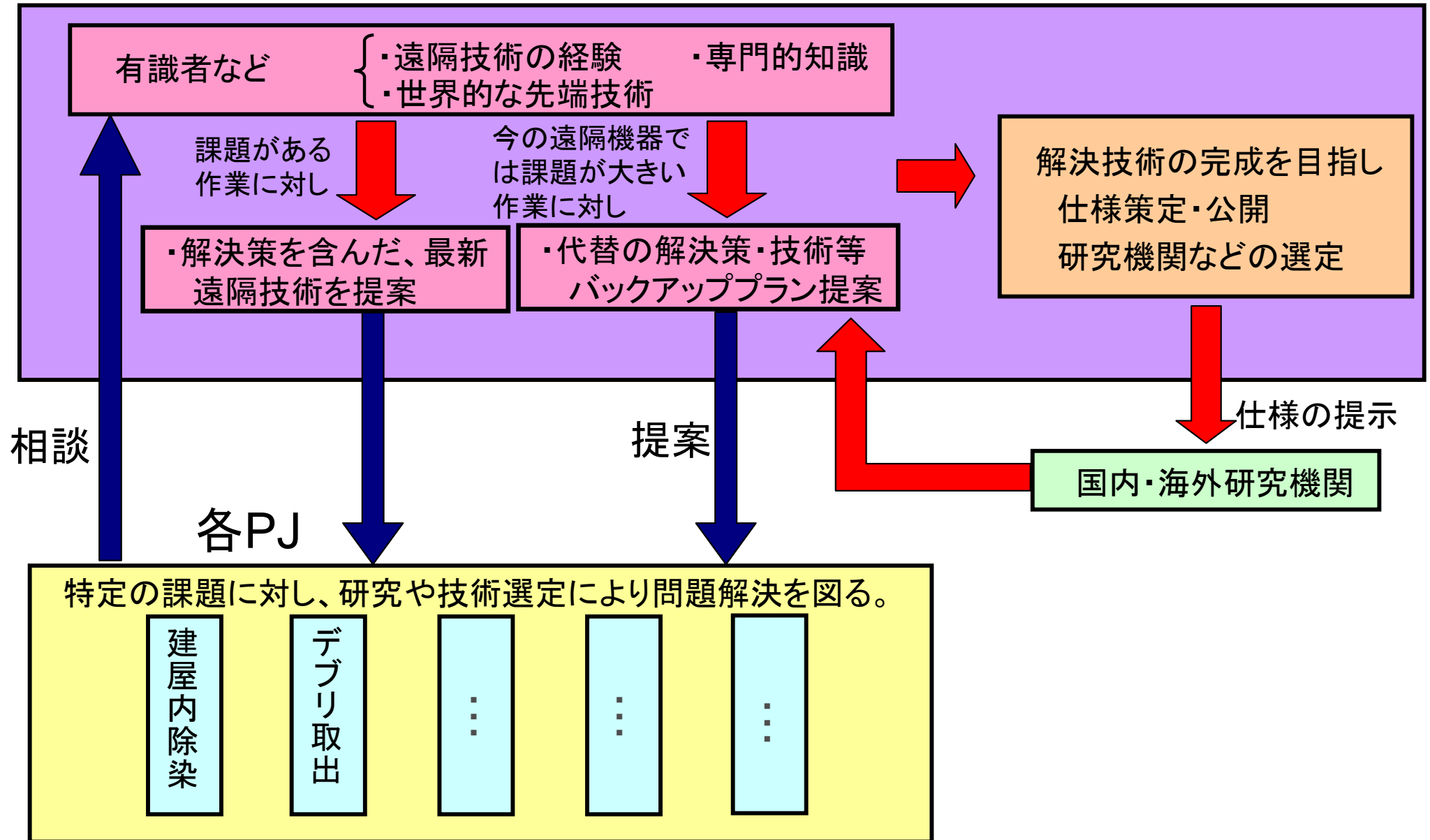
2012/9/10現在

氏名	所属・役職
浅間 一(主査)	東京大学 大学院工学系研究科 精密工学専攻 教授
中村 仁彦	東京大学 大学院情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻 教授 → 対災害ロボティクス・タスクフォースと連携
田所 諭	東北大学 大学院情報科学研究科 応用情報科学専攻 教授
大道 武生	名城大学 理工学部 機械システム工学科 教授
横小路 泰義	神戸大学 大学院工学研究科機械工学専攻 教授
松日楽 信人	芝浦工業大学 機械機能工学科 教授
比留川 博久	(独)産業技術総合研究所 知能システム研究部門 研究部門長
川妻 伸二	(独)日本原子力研究開発機構 福島技術本部 復旧技術部 技術主席
藤野 健一	(独)土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム 主席研究員
杉本 孝信	経済産業省 資源エネルギー庁 原子力政策課 原子力政策担当企画官
北島 明文	経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐
水野 俊晃	文部科学省 研究開発局 原子力課 課長補佐
安田 年廣	(株)東芝 原子力システム設計部 主幹
米谷 豊	日立GEニュークリア・エナジー(株) 原子力設計部 メカトロニクス設計グループ グループリーダー主任技師
細江 文弘	三菱重工業(株) 原子力機器設計部 装置設計課 課長
加瀬 隆明	三菱電機特機システム(株) 東部事業部 新事業推進室 新事業推進担当部長
津久井 慎吾	トピー工業(株) サイエンス事業部 環境システム部 クローラーロボットグループ 主幹
藤川 正剛	(株)アトックス 常務取締役 技術開発センター長
植木 睦央	鹿島建設(株) 機械部 企画グループ長
北原 成郎	(株)熊谷組 土木事業本部 機材部 担当部長
田中 勤	東京電力(株) 原子力・立地本部 部付
吉野 伸(事務局)	東京電力(株) 技術開発研究所 機械システム技術グループマネージャー

※オブザーバー 文部科学省(研究振興局基盤研究課)、総務省、(財)製造科学技術センター、(社)日本ロボット工業会 アドバイザー 東京大学
今後の検討テーマに応じて、メンバーを追加予定。

遠隔技術TFの中心的な活動

遠隔技術TF：有識者の知見、専門メーカーの技術等、国内外の叢智を結集し課題解決をサポート。



1, 2号原子炉建屋 屋上階調査

◆ 1号屋上階調査ロボットの必要性

瓦礫撤去前に線量調査やカバー解放にあわせてダストサンプリングを行なう必要があるが、屋上階（オペフロ）は水素爆発により躯体（壁，床，天井）に著しい損傷があり、人・既存ロボット共にアクセス困難

必要な装置

- ・ 遠隔飛翔型ロボットなど

必要な機能

- ・ 瓦礫上での線量測定
- ・ ダストサンプリング

1号屋上階（カバー設置前）



◆ 2号屋上階調査ロボットの必要性

被ばく低減対策のため実施する屋上階除染を行なう条件として、線量測定は必須な条件。しかし、クインスによる床面の測定は実施したものの、天井・壁面並びに機器表面の測定まで実施できていない。

必要としている技術

- ・ 遠隔飛翔型ロボット、遠隔壁面移動ロボットなど

必要な機能

- ・ 天井面・壁面・機器表面での線量測定

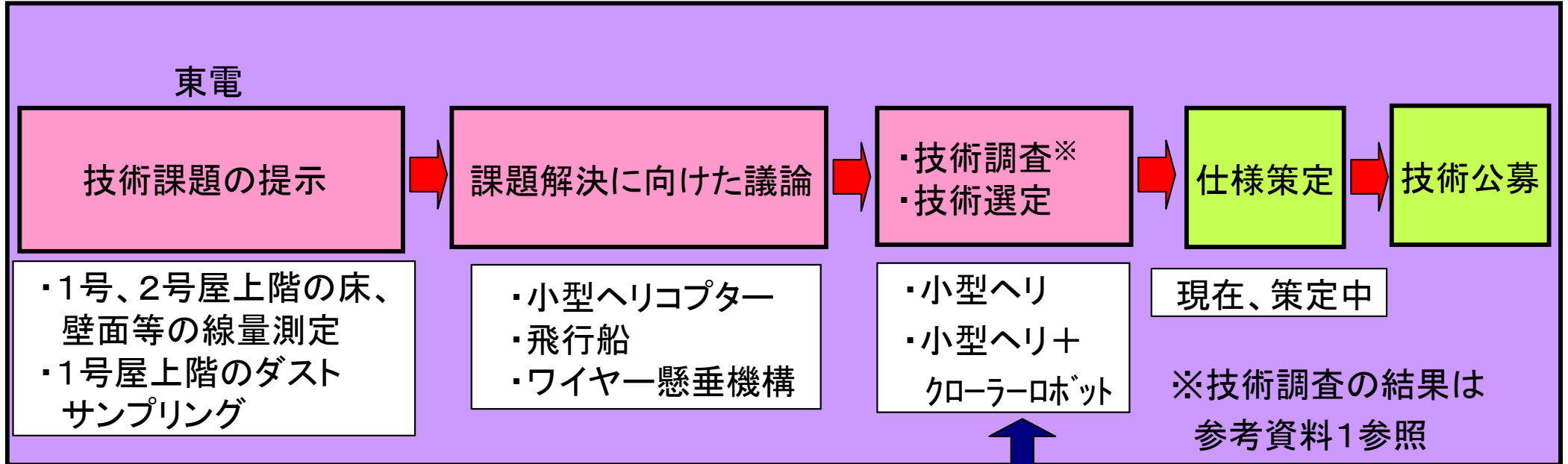
2号屋上階



技術検討状況①

1, 2号原子炉建屋 屋上階調査

遠隔技術TF



小型ヘリコプター例



ペンシルバニア大
自律飛行小型ヘリ
最大径:56cm 重さ:1.3kg

飛行船例

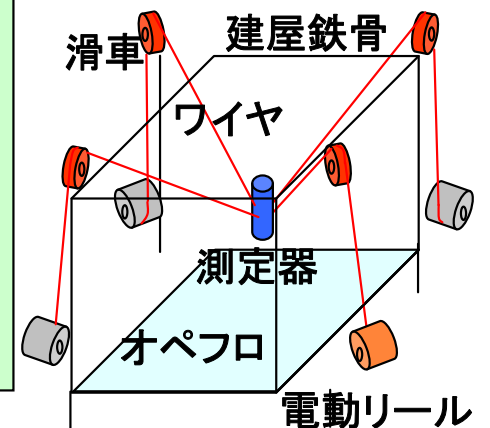


(株)エイ・イー・エス
小型飛行船
全長:3.6m 最大径1.6m

調査先

- ・小型ヘリコプター
東北大・ペンシルバニア大
千葉大、日立GE
- ・飛行船
エイ・イー・エス、トピー工業
- ・ワイヤー懸垂機構
中央大

ワイヤー懸垂機構



S/C内水位測定・水中遊泳ロボット用共通基盤技術

◆サプレッションチャンバ（S/C）内水位測定の必要性

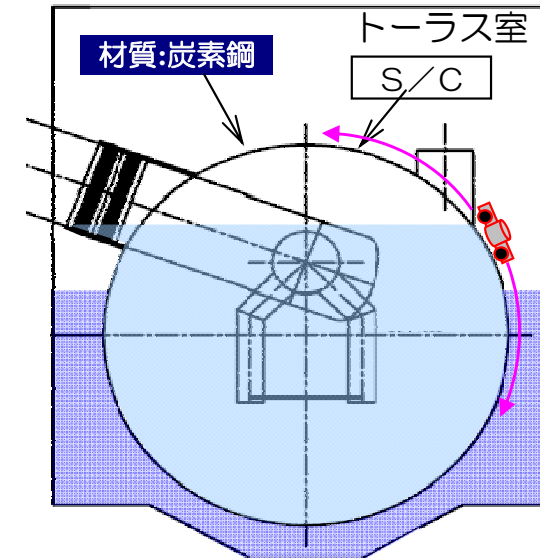
S/C内の水位とトーラス室内の水位から格納容器の漏えい箇所を絞り込むことができるが、S/C内の水位を遠隔で測定する手段がない。

必要な装置

- ・鉄製曲面移動ロボット

必要な機能

- ・S/Cの外から内部の水位測定



◆水中遊泳ロボットの必要性

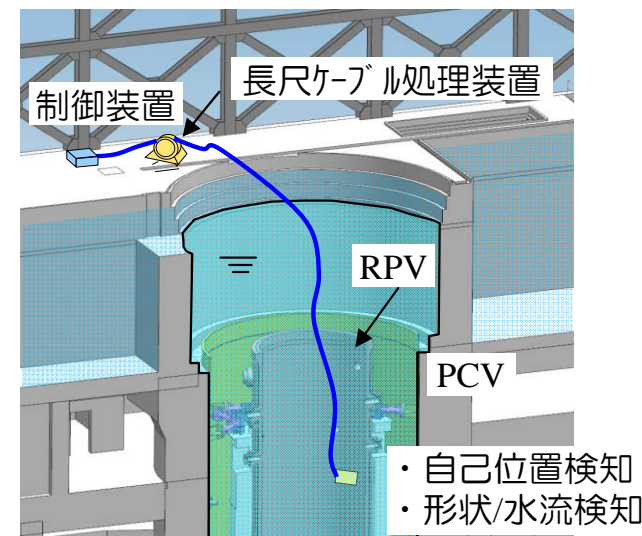
今後、水で満たされた格納容器や圧力容器の内部などを水中遊泳ロボットで調査することが想定されるが、水中にてロボットの自己位置を特定する技術など基盤的な技術がない。

必要な装置

- ・水中遊泳ロボット

必要な機能

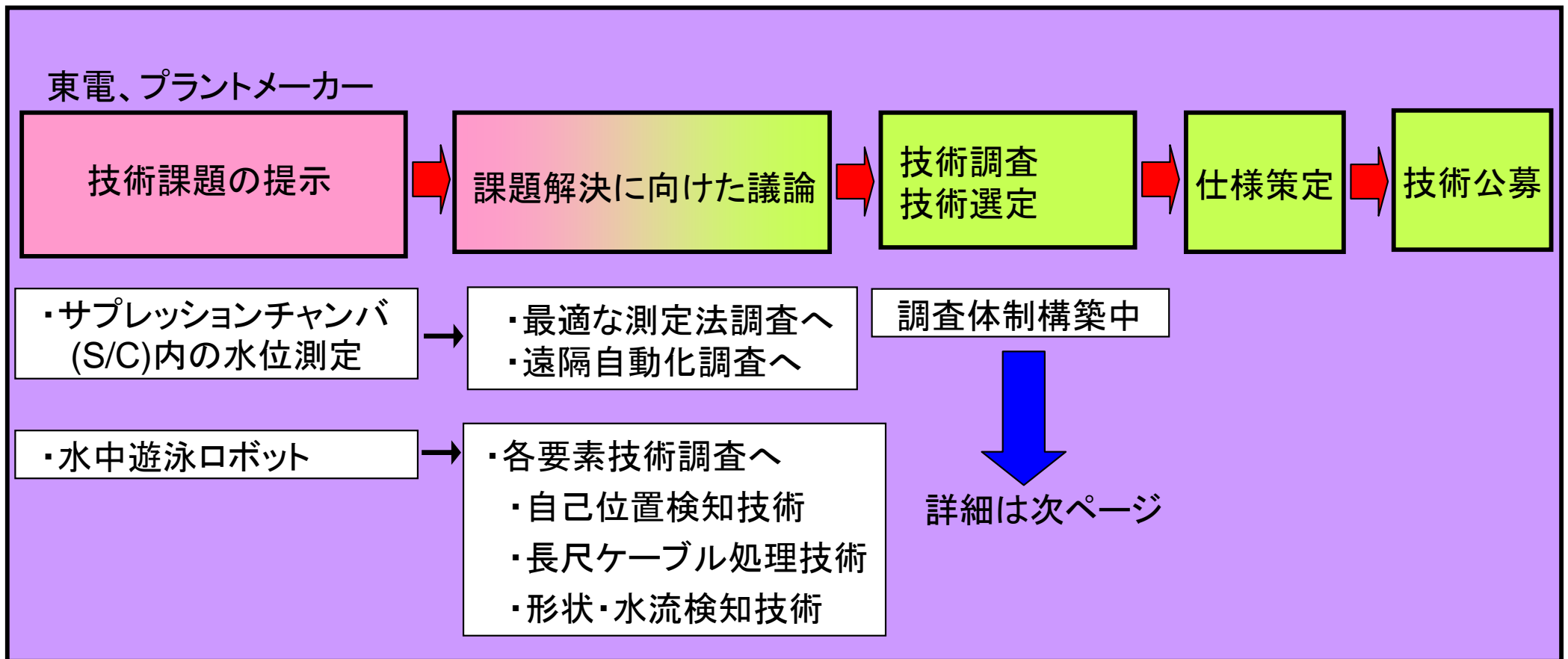
- ・自己位置検知技術
- ・長尺ケーブル処理技術
- ・形状・水流検知技術



技術検討状況②

S/C水位測定・水中遊泳ロボット用共通基盤技術

遠隔技術TF



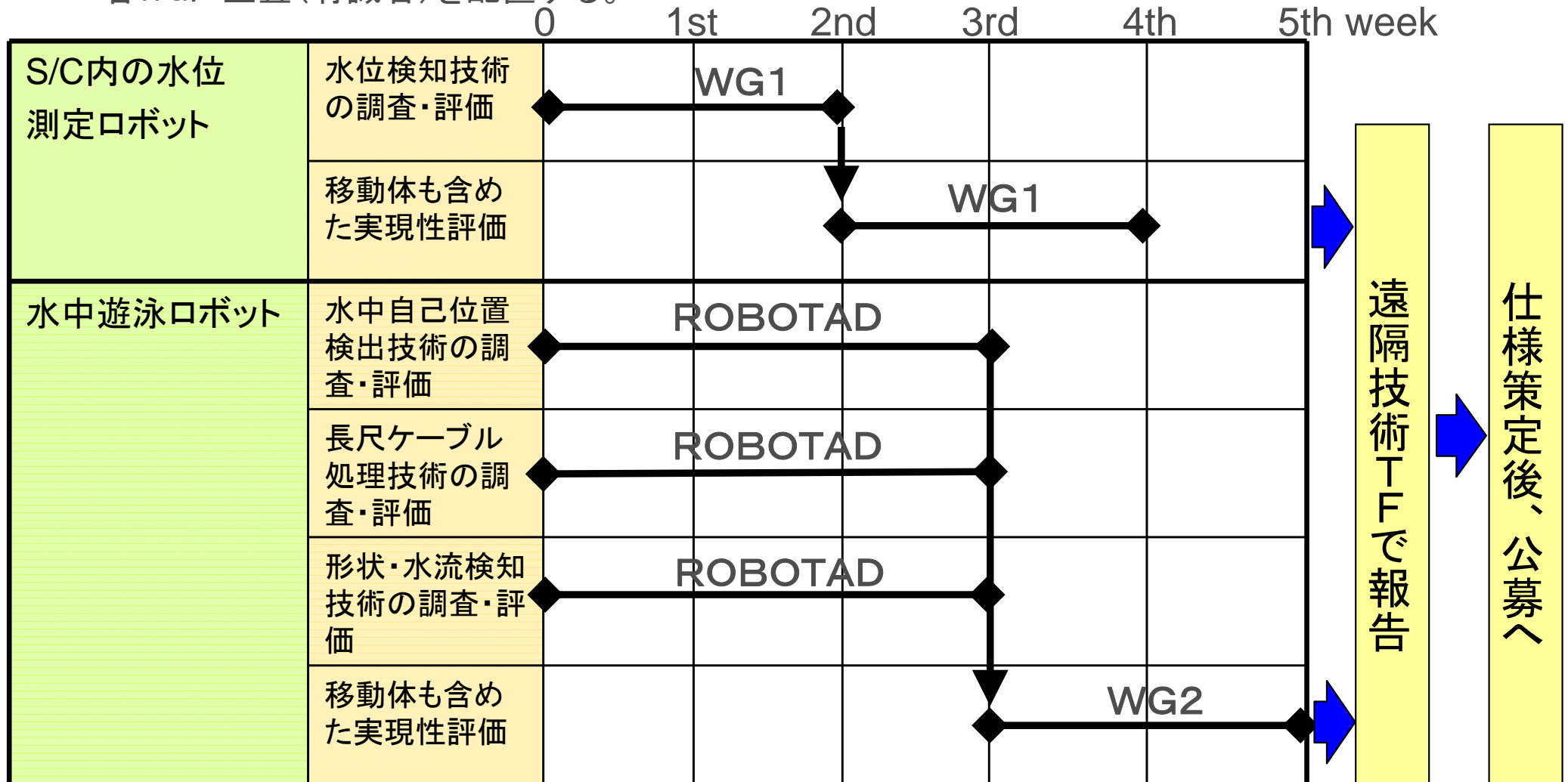
共通基盤技術調査体制の構築

目的: 短期間・少人数で特定技術の調査・評価をする。

活動: 有識者の知見・ネットワークを活用し、特定技術の情報収集・評価をする。

体制: ROBOTAD※と連携すると共に、ワーキング(WG)を設置し、技術調査を分担する。

各WGに主査(有識者)を配置する。



※学会横断的組織「対災害ロボティクス・タスクフォース」 国内外の有識者と連携 アンカーマン: 中村仁彦東大教授

原子炉建屋 屋上階調査方法に関する ロボット技術調査について

平成24年 9月24日

研究開発推進本部
遠隔技術タスクフォース

1. 今回のロボット技術調査の概要

- 第3回遠隔技術TFの議題「原子炉建屋 屋上階調査ロボットの必要性について」の討議において現場適用の可能性があるとされた「小型ヘリ」、「小型飛行船」、「ワイヤ懸垂機構」について調査する。
- 当該ロボット技術の有識者に現場適用の可能性や現場適用イメージなどを聞き取り調査し、抽出されたロボットを活用した屋上階調査方法を検討した。

小型ヘリ

東北大学 田所先生
ペンシルバニア大 Nathan Michael先生
千葉大学 野波先生
日立GE

小型飛行船

工学院大学 羽田先生
(株)エイ・イー・エス

バルーン+クローラロボ

トピー工業

ワイヤ懸垂機構

中央大学 大隅先生

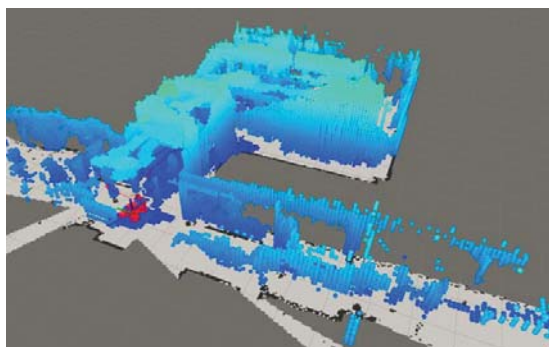
2-1. 小型ヘリ (ペンシルバニア大 Pelican)

- 小型ヘリの屋内外操作に対する状態推定や自律制御の研究で世界最先端のペンシルバニア大のNathan Michael先生に小型ヘリの原子炉建屋 屋上階調査への適用可能性を相談した。
- 4ロータ電動ヘリ「Pelican」(サイズ56cm、ペイロード0.5kg)は高速プロセッサとレーザセンサを搭載し、室内空間における地図作成と自己位置推定をリアルタイムに行うことができ、自律飛行が可能。
- 東北大学田所先生と共同で地震で損傷した建物内の3次元地図を遠隔取得することに成功。



プラットフォームは独自の
Ascending Technologies社製
4発ロータ型電動ヘリ「Pelican」

軽量のロータカバーにより壁等に
接触しても壊れづらい



高速プロセッサ、センサ(レーザ、IMU、
キネクト)を搭載し、リアルタイムに室内
の地図を作成し自己位置を推定できる

サイズ:56cm、重さ:1.3kg
ペイロード:0.5kg
飛行時間:約15分、充電時間:40分



東北大田所先生と共同で、
小型ヘリとクローラ型ロボット
を組合せ、地震で損傷した建
物内の3次元地図を遠隔取
得する実験を行い成功してい
る

2-2. 小型ヘリ (千葉大 野波研 Mini Surveyor)

- 空撮&情報収集用電動マルチロータ型飛行ロボットの開発や自律制御の研究を行っている千葉大の野波先生に小型ヘリの原子炉建屋 屋上階調査への適用可能性を相談した。
- 開発中のMini Surveyorの機体仕様は海外のトップレベル技術とほぼ遜色ない。

機体概要



Mini Surveyor 06

全長	770 mm
全高	350 mm
機体重量 (バッテリー除く)	1691 g
電源	リチウムポリマバッテリー
飛行時間	約15分
ペイロード(バッテリー除く)	1100g



Mini Surveyor 12

全長	770 mm
全高	350 mm
機体重量 (バッテリー除く)	2380g
電源	リチウムポリマバッテリー
飛行時間	約15分
ペイロード(バッテリー除く)	1500 g

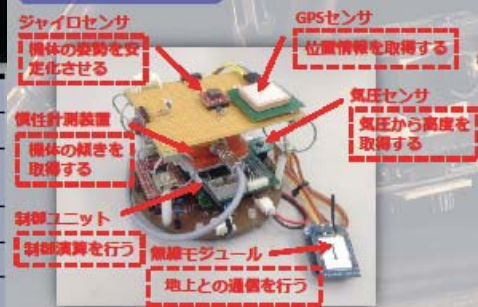
安全・低騒音・低コスト

- ・軽量、小型の電動機体
- ・有人機が飛行できない低高度、狭所飛行が可能
- ・低騒音で要救助者の声を掻き消さない
- ・空撮、空中観測を気軽に
- ・わずかなスペースから即座に飛行発進

離陸から着陸まで完全自律飛行を実現

- ・超音波センサによる自動離着陸
- ・GPSによりモニタの地図上でクリックした点まで正確に飛行
- ・高精度ホバリング(空中停止)による定点観測が可能

自律制御装置




2-2. 小型ヘリ（千葉大 野波研 Mini Surveyor）

- 小型ヘリの中では高ペイロードであり、選定次第では線量計やダストサンプラの搭載が可能。
- 震災後、津波被害地域の空撮や福島県川俣町の除染効果調査などを試行し成果を得ている。


地上局モニタ

機体の状態と飛行ルートを常時監視することができる




使用用途

- ・MS-06では1100g、MS-12では1500gまでの装置を搭載可能
- ・さまざまなニーズに応じてセンサやカメラをカスタマイズできる




機体下部にカメラを搭載

これまでの主な使用実績



- ・(左上) 東日本大震災津波被害地域をハイビジョンカメラにより空撮
- ・(左下) 人が立ち入れない化学工場爆破現場での早期情報収集（警視庁災害警備総合訓練にて）
- ・(右) 放射線測定器および特殊カメラを搭載して福島県川俣町山木屋地区の除染効果の調査

- ・自動離着陸、手動と自律の併用で姿勢制御を入れた位置操作、4方の距離センサにより障害物との距離を設定しての飛行などが可能。
- ・操縦訓練は20～30時間程度（マニュアルモードで操縦できるレベル、訓練用シミュレータあり）。
- ・バッテリー自動交換器を年内を目処に開発中。
- ・欧州同等機に比べ安価（150万円～）。



国立大学法人 千葉大学
National University Corporation Chiba University

NONAMI LABORATORY
Robotics and Systems Central Laboratory

Tel: 043-290-3193
Email: nonami@faculty.chiba-u.jp
HP: http://mec2.tm.chiba-u.jp/~nonami/

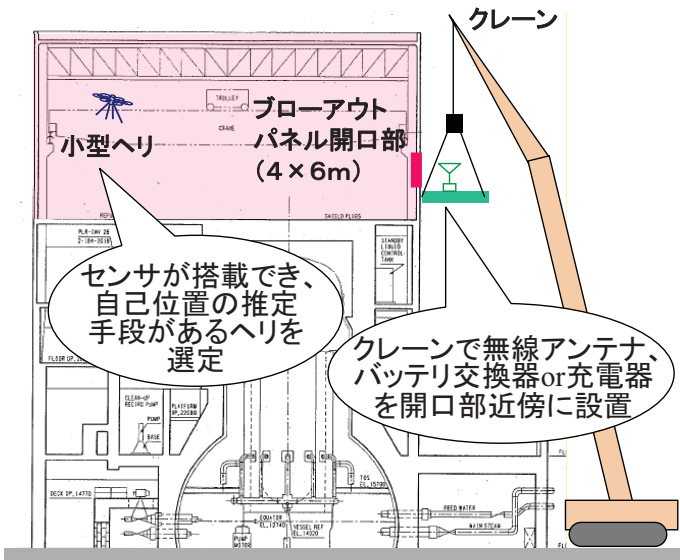
2-3. 小型ヘリ（主な小型ヘリの一覧表）

名称	メーカー(国)	プロペラ数	サイズ(cm)	重量(kg)	ペイロード(kg)	飛行時間(分)	特記
AR-Drone2.0	Parrot(仏)	4	53	0.4	0.0	12	自動離着陸、自動ホバリング可能
Pelican	Ascending Technologies(独)	4	54	1.3	0.5	15	研究用(ペンシルバニア大が利用)
Falcon8		8	84	1.8	0.5	17	空撮用
MK-6	MK-Kopter(独)	6	56	1.0	1.0	15	風速12m/sでも飛行可能 自動ホバリング可能
MK-8		8	77	1.3	1.5	15	
MS-06	千葉大学野波研究室	6	77	1.7	1.1	15	自動離着陸、自動ホバリング可能 障害物センサ付き バッテリー自動交換器を開発中
MS-12		12	77	2.5	1.5	15	
球形飛行体	防衛省技術研究本部	1	42	0.4		8	開発中 (現状は目視による遠隔操縦が必須)
小型飛行ロボット	日立GE	2	30	0.7	0.6	6	開発中

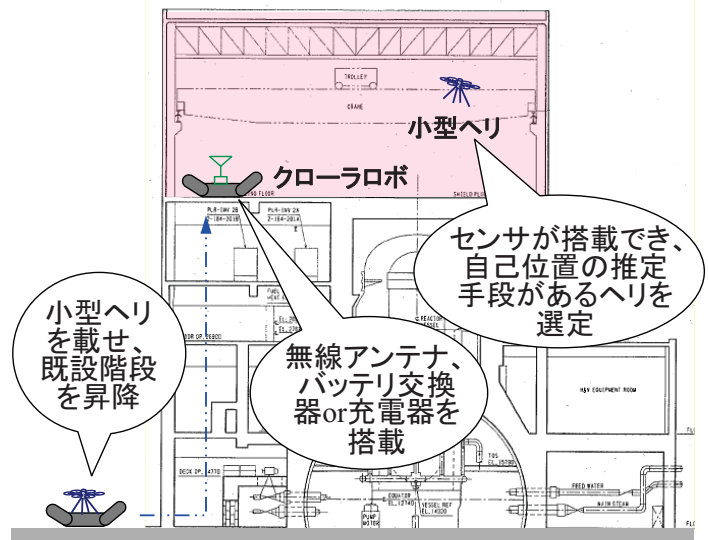
2-4. 原子炉建屋 屋上階調査への小型ヘリの適用イメージ

- 屋上階調査への小型ヘリ適用の課題は、センサを搭載するペイロード、飛行時間、遠隔操作距離、GPSが利用できない室内での自己位置推定など。
- 小型ヘリの適切な選定とクレーンやクローラロボとの組合せにより適用の可能性がある。

【小型ヘリ+クレーン】



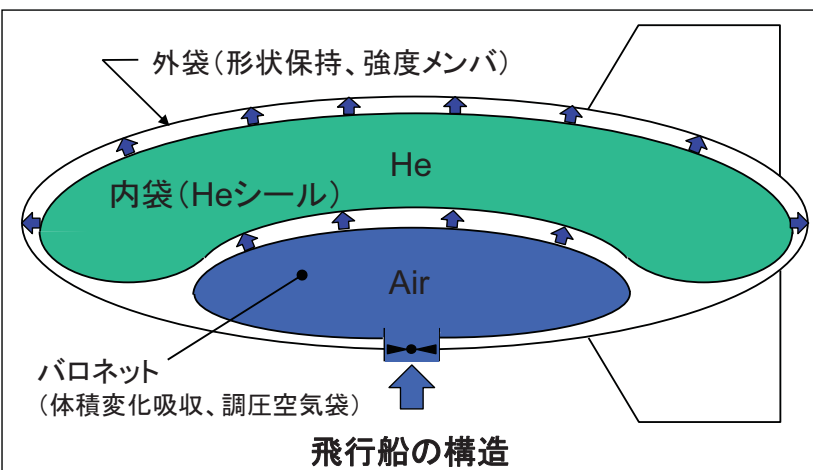
【小型ヘリ+クローラロボ】



6

3-1. 小型飛行船（構造・特徴など）

- 屋内用自律飛行船を用いた情報収集実験などの知見をもつ工学院大学の羽田先生および多くの飛行船を設計製作した実績をもつ株式会社エイ・イー・エスに小型飛行船の原子炉建屋屋上階調査への適用可能性を相談した。
- 小型飛行船の利点はヘリに比べ気流を乱さないこと、欠点は室内用の小型の機体の場合は風の影響を受けやすいことなど。



小型飛行船の特徴

利点

- ・非常に低速で飛行可能
- ・空中静止、垂直離着陸可能
- ・小型ヘリに比べ気流を乱さない
- ・小型ヘリより長時間飛行可能
- ・低騒音

欠点

- ・小さな機体ほど風の影響を受け安定性に欠ける
- ・狭隘部の通過など複雑な操縦は難しい
- ・ペイロードを得るには大きな機体が必要な一方、移動、保管が不便

- ・ヘリウムの浮力は1m立方あたり1kg重程度
(ペイロード=ヘリウムによる浮力-本体の重さ)
- ・基本的に重さ0(重力-浮力=0)で用い推進器(スラスタ)で移動

7

3-2. 小型飛行船（（株）エイ・イー・エスの製作例）

- （株）エイ・イー・エスでは、室内用小型飛行船の設計製作実績多数あり。通常の設計製作期間は材料調達含め6ヶ月（製作は約2ヶ月）。
- 移動スピードより高ペイロードを重視するなら球形。
- 室内用最小設計は球形1.8mサイズ（ペイロード0.2kg）。



・SkyProbe-J
 全長:5.5m、最大径:2.5m
 全容積:18 m³
 ペイロード:3kg
 推進装置:電動モータ
 飛行時間:1時間

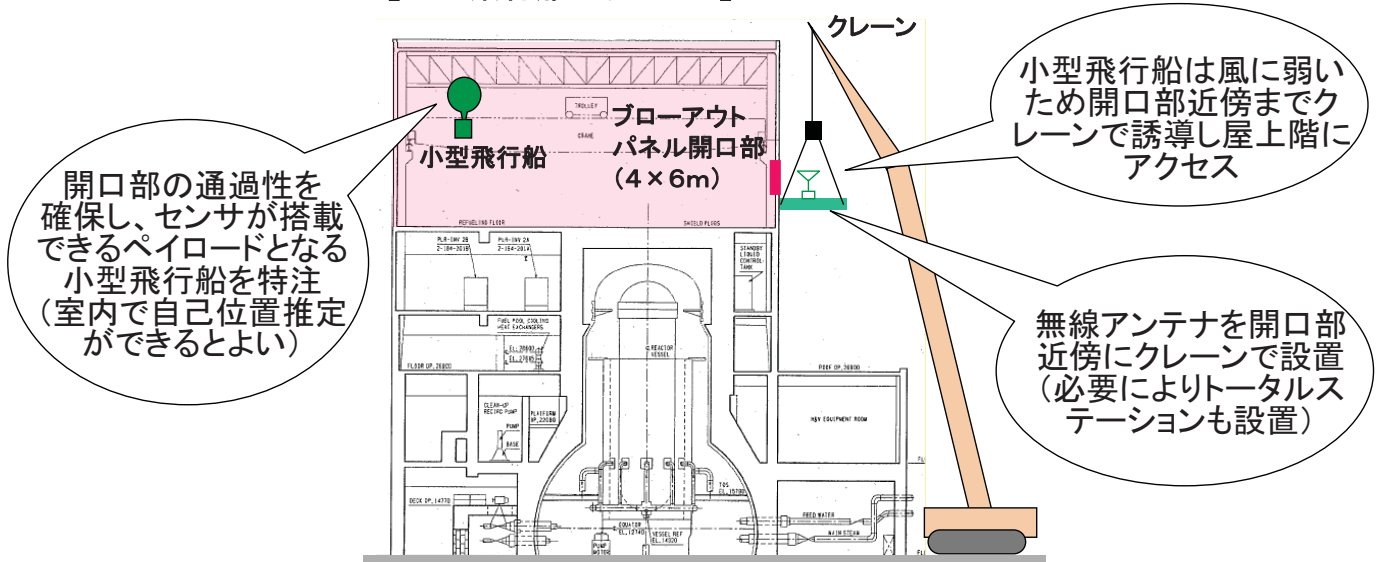


・SkyProbe Mini I
 全長:3.6m、最大径:1.6m
 全容積:4.6 m³
 ペイロード:1.5kg
 推進装置:電動モータ
 飛行時間:1時間

3-3. 原子炉建屋 屋上階調査への小型飛行船の適用イメージ

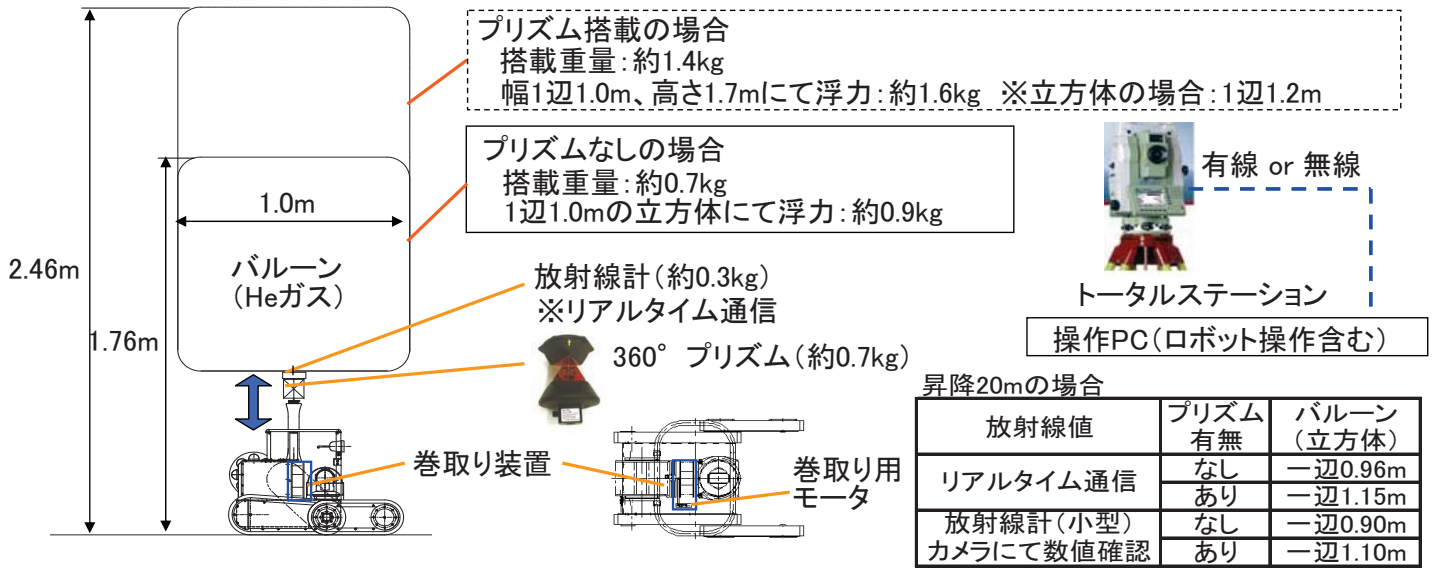
- 屋上階調査への小型飛行船適用の課題は、センサを搭載するペイロード、遠隔操作距離、GPSが利用できない室内での自己位置推定、屋内外の気流の影響など。
- 小型飛行船の特注設計とクレーンとの組合せにより適用の可能性がある。

【小型飛行船+クレーン】



4. トピー工業 原子炉建屋 屋上階調査用ロボット

バルーン(直方体)に放射線計を搭載し、高さ位置を巻取り装置にて制御



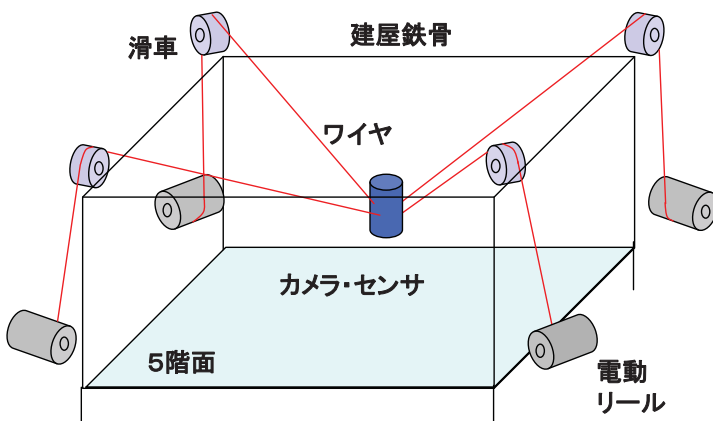
計測位置の取得方法

- <案1> トータルステーション(測量機器)を使用
バルーンにプリズムを搭載し、プリズム位置を自動追尾にて検出(約5~300m)
※トータルステーションとプリズムの間に障害物がないことを前提
- <案2> カメラ画像からおおよその位置把握 ※高さ位置は巻取り回転量にて検出
カメラ映像の記録: 静止画撮影(一定間隔での自動撮影等)、動画録画

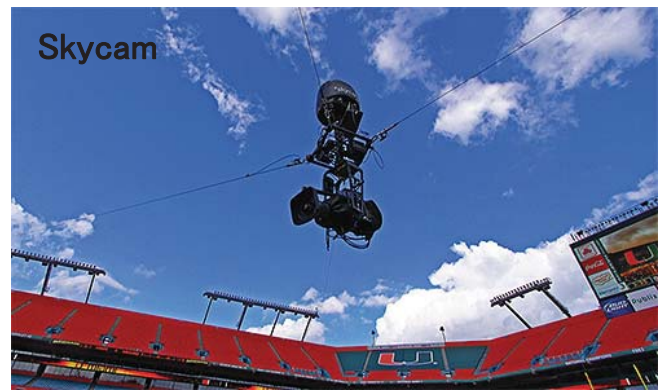
10

5. ワイヤ懸垂機構

- ワイヤ懸垂型アームロボットの開発や制御システムの研究などを行っている中央大学の大隅先生にワイヤ懸垂機構の原子炉建屋 屋上階調査への適用可能性を相談した。
- 天井の4隅から張ったワイヤの先にカメラや線量計を搭載し、4つの電動リールで4本のワイヤを制御することで空間を移動させる機構の適用が考えられる。
- ワイヤ懸垂機構の実用例の中では、空中カメラシステム「Skycam」の技術が有望。
ただし、現状の現場環境を考慮すると遠隔作業による設置は難しいと推測されるとのこと。



原子炉建屋 屋上階調査への適用イメージ
(ただし、遠隔作業による設置は難しい)



スポーツなどのTV中継機材として利用されている空中カメラシステム(米Skycam社)
(カメラ: 重量23kg、長さ: 92cm、速度: 40km/h)

11

6. 原子炉建屋 屋上階調査への適用可能性（まとめ表）

	福島第一 1号機		福島第一 2号機	
	空間線量計測	ダストサンプリング	空間線量計測	ダストサンプリング
小型ヘリ + クレーン	○	○	○	○
	クレーンとの組合せで無線距離、飛行時間、アクセスの課題をクリアできる可能性あり		クレーンとの組合せで無線距離、飛行時間、アクセスの課題をクリアできる可能性あり	
小型ヘリ + クローラロボ	×	×	○	○
	クローラロボの屋上階への進入、屋上面での移動が困難のため		クローラロボ移動範囲以外もデータ採取可能	クローラロボへの搭載により採取可能
小型飛行船 + クレーン	△	△	○	△
	操作性の問題で、開口部(2.7×2.7m)の進入やダストサンプラの回収が難しい可能性がある		クレーンとの組合せで可能性あり	操作性の問題で回収が難しい可能性あり
バルーン + クローラロボ	×	×	△	○
	クローラロボの屋上階への進入や屋上面での移動が困難のため		クローラロボ移動範囲のみデータ採取可能	クローラロボへの搭載により採取可能
ワイヤ懸垂機構	×	×	×	×
	遠隔作業による設置が困難のため		遠隔作業による設置が困難のため	

凡例：○適用の可能性がある △条件によっては適用の可能性がある ×適用が難しい