

# マルチコプター「RISER」による 線量評価の適用性試験結果について

2017年6月29日

---

**TEPCO**

東京電力ホールディングス株式会社

# 1. 試験概要

放射線作業計画の策定や線量低減結果の確認を効果的に行うために、立体的な線量評価が可能なマルチコプター（RISER）の導入を進めている。福島第一原子力発電所における適用性試験結果がまとまったため、その内容について報告する。

試験項目	試験の確認内容	試験場所		
		3号機逆洗弁ピット [屋外]	3号機タービン建屋 2階オペフロ [屋内]	1号機タービン建屋 地下階[屋内] <抜管エリア> ※
飛行性能	機器等が複雑に存在する場におけるRISERの飛行安定性を確認	○ (構造物：単純形状)	○ (構造物：比較的複雑な形状)	○ (構造物：立体的に複雑な形状)
放射線計測	飛跡上の線量率測定結果から、線量率の空間分布を解析でき、任意の点において電離箱式サーベイメータの実測定結果と大差ないこと	○	○	○
飛行空間のモデリング	飛跡上で計測した周囲の構造物までの距離から、飛行空間を3Dモデリングができ、任意の構造物の寸法が実測定および図面寸法と大差ないこと	○ (狭隘な空間)	○ (広大な空間)	—
ダスト測定	屋内飛行において、ダストの舞い上がり状況を確認	—	○	○

※ 抜管エリア及び南側エリアの2箇所を計画していたが、南側エリアは配管や手すり等の構造物が多く、RISERの飛行条件（幅2m以上、高さ3m以上の空間が必要）に合致しないため、自律飛行による適用性試験ができなかった。

## 2. 飛行性能の確認結果

### ■ 3号機逆洗弁ピット及び1号機タービン建屋地下階

- ・ 安定した飛行が可能であることを確認

(1号機タービン建屋地下階は、以下の機体制御の改善後に実施)

3号機逆洗弁ピット内での飛行状況



### ■ 3号機タービン建屋2階

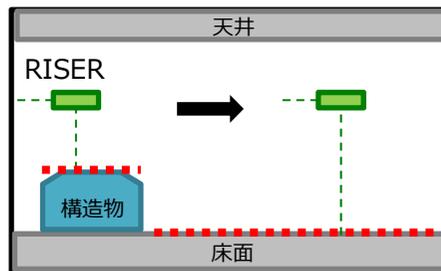
- ・ 機体の制御方法に課題が見つかったため、改善後に再試験を行い、安定した飛行が可能であることを確認。

(課題)

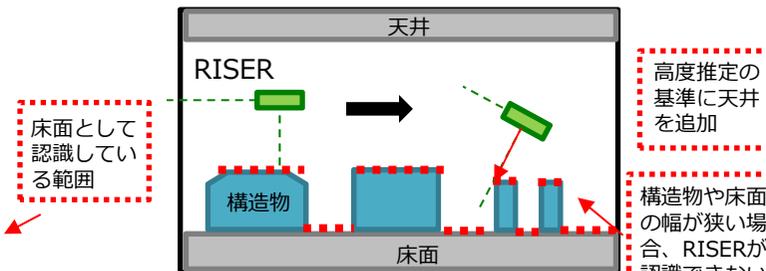
RISERは、自機を中心とした2軸方向（水平、垂直）の距離計測を行っており、予め計画した飛行高度と構造物や床面との相対距離で機体を制御する（図①）。構造物や床面の幅が狭い場合、RISERが構造物や床面を認識できず、垂直方向の位置を誤認し、機体がふらつく事象を確認（図②）。

(改善実績)

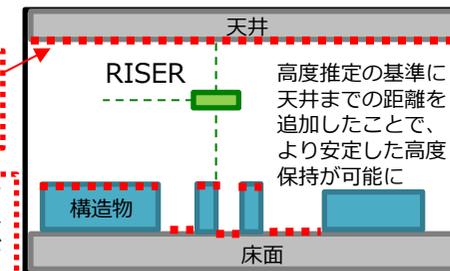
床面までの距離情報の他、天井までの距離情報を加えることで、飛行高度を誤認することなく、安定した飛行が可能となった（図③）。



<図① 改善前>



<図② 機体のふらつき事象>



<図③ 改善後>

### 3-1. 放射線計測の確認結果 – 3号機逆洗弁ピット –

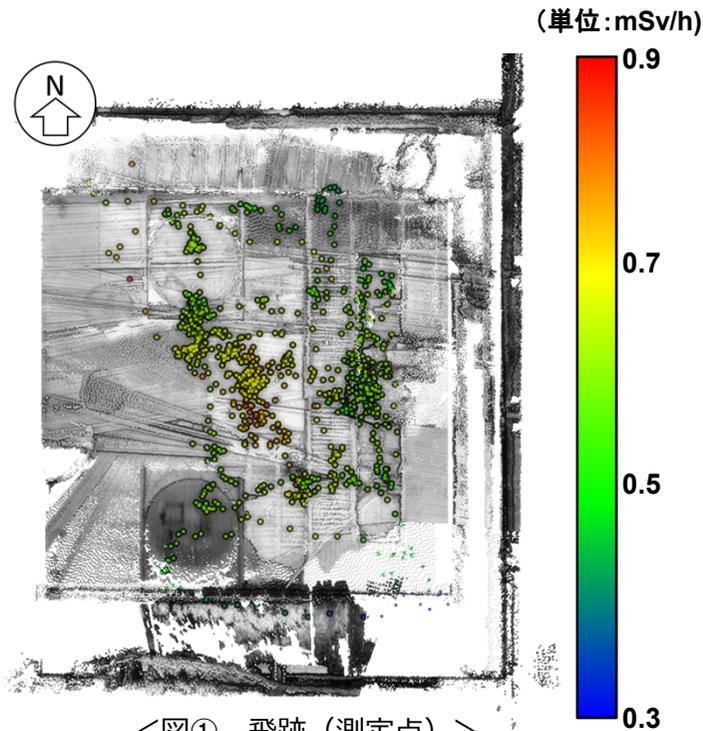
#### ■ 線量率の空間分布の解析結果及び線量率の検証結果

- RISERの飛跡（測定点）：図①参照
- 線量率の空間分布の解析結果：図②参照
- 線量率の検証結果

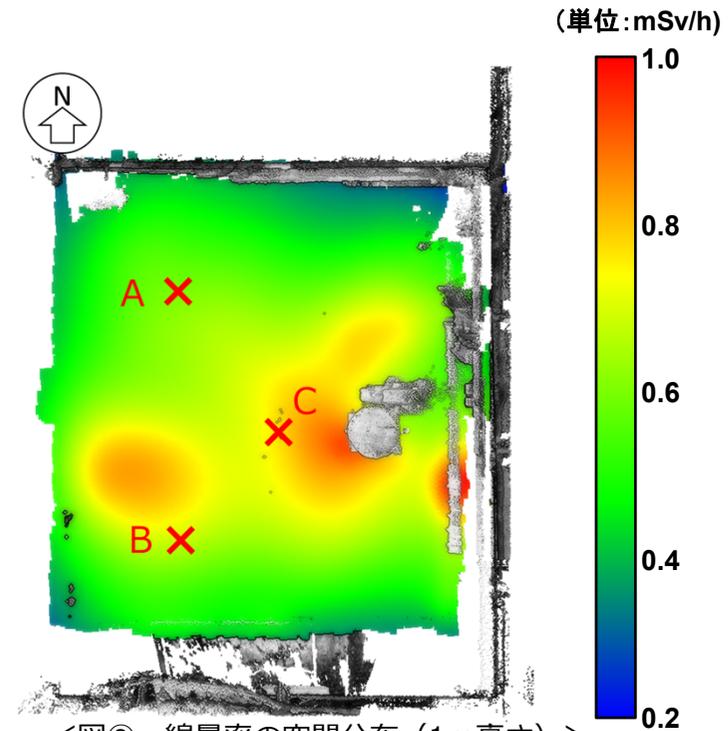
(単位：mSv/h)

測定点	RISERによる評価結果	サーベイメータによる測定結果
A	0.6	0.5
B	0.6	0.6
C	0.8	0.7

図②のA・B・Cの点において、電離箱式サーベイメータで測定した結果と比較し、同程度の線量率が得られることを確認。



<図① 飛跡（測定点）>  
試験場所：3号機逆洗弁ピット [屋外]



<図② 線量率の空間分布（1m高さ）>  
試験場所：3号機逆洗弁ピット [屋外]

### 3-2. 放射線計測の確認結果 - 3号機タービン建屋2階 -

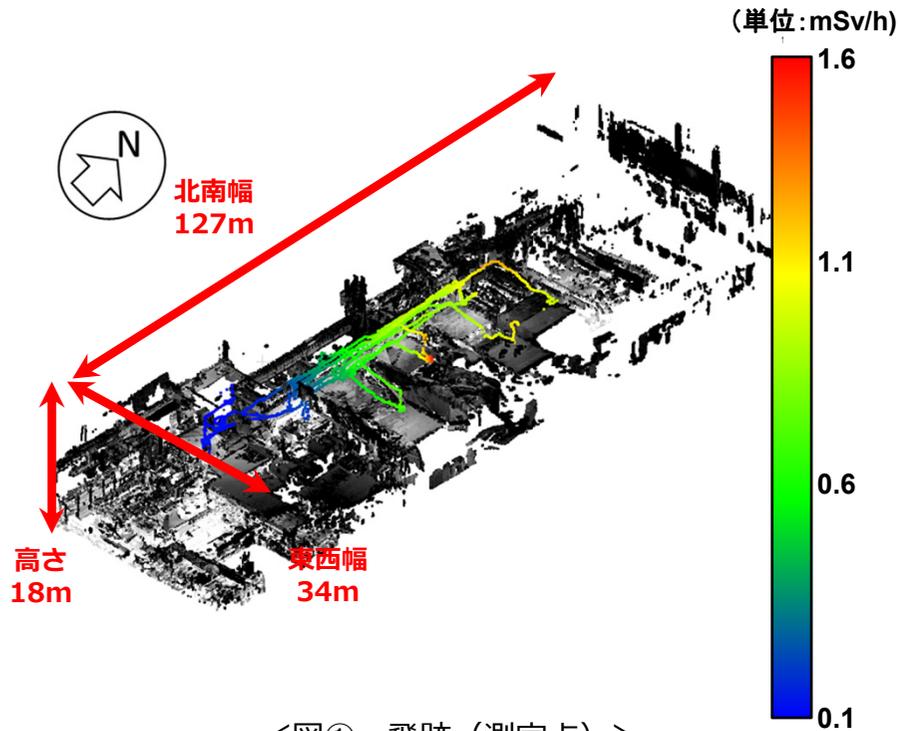
#### ■ 線量率の空間分布の解析結果及び線量率の検証結果

(単位：mSv/h)

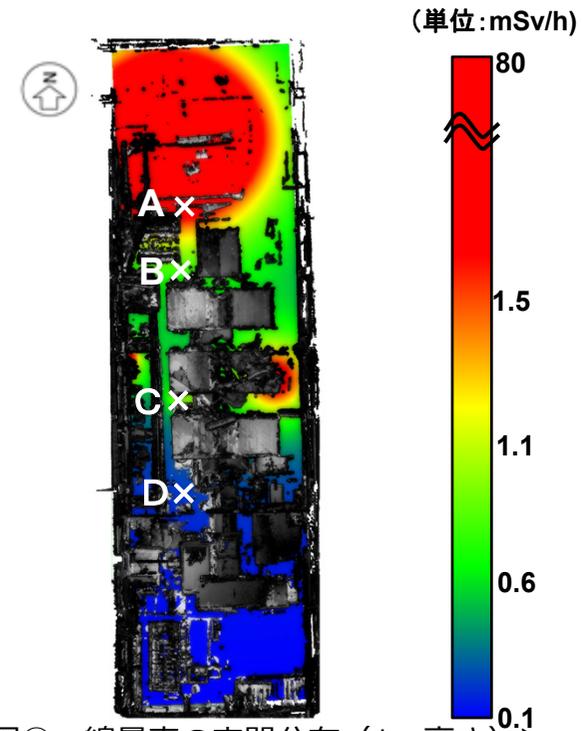
- ・ RISERの飛跡（測定点）：図①参照
- ・ 線量率の空間分布の解析結果：図②参照
- ・ 線量率の検証結果

図②のA・B・C・Dの点において、[電離箱式サーベイメータ](#)の測定結果と比較。測定点AとCで、大きな差異を確認。

測定点	RISERによる評価結果	サーベイメータによる測定結果
A	3.8	1.8
B	1.1	0.9
C	1.0	0.5
D	0.3	0.2



<図① 飛跡（測定点）>  
試験場所：3号機タービン建屋2階 [屋内]



<図② 線量率の空間分布（1m高さ）>  
試験場所：3号機タービン建屋2階 [屋内]

### 3-2. 放射線計測の確認結果 - 3号機タービン建屋2階 -

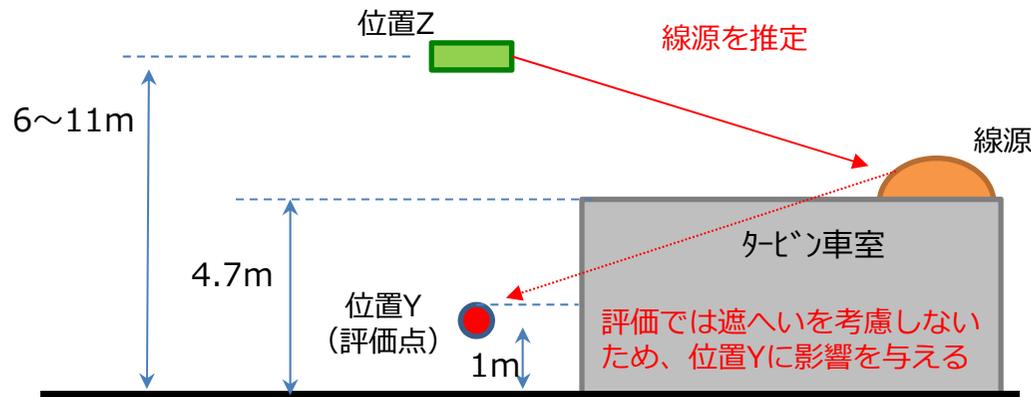
#### ■ RISERによる線量率の解析結果と電離箱式サーベイメータによる測定結果の差異について

##### 【測定点Aについて】

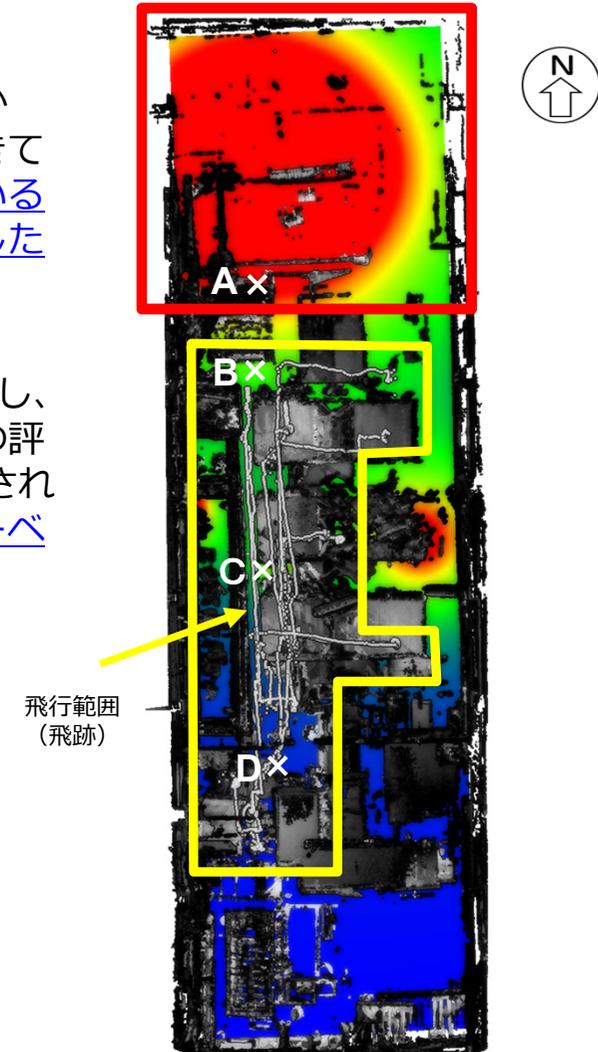
今回の飛行範囲では図②の飛跡が示す通り、タービン建屋の一部しか測定を行っておらず飛行範囲外の線源の広がりについて正確に評価できていない。そのため、今回は広がっている線源を北側エリアに集中していると仮定したため、電離箱式サーベイメータによる測定結果と差異が生じたものと推定。

##### 【測定点Cについて】

RISERは、図①のように位置Zの高さで線量測定結果から線源を推定し、線源からの距離をもとに任意の点における線量率を評価する。線量率の評価点を位置Yとした場合、位置Yの線量率はタービン車室により遮へいされるが、今回の解析では遮へいを考慮せずに評価したため、電離箱式サーベイメータによる測定結果と差異を生じたものと推定。



<図① 遮へい効果について>



<図② 線量率の空間分布)>  
試験場所：3号機タービン建屋2階 [屋内]

### 3-3. 放射線計測の確認結果 - 1号機タービン建屋地下階 -

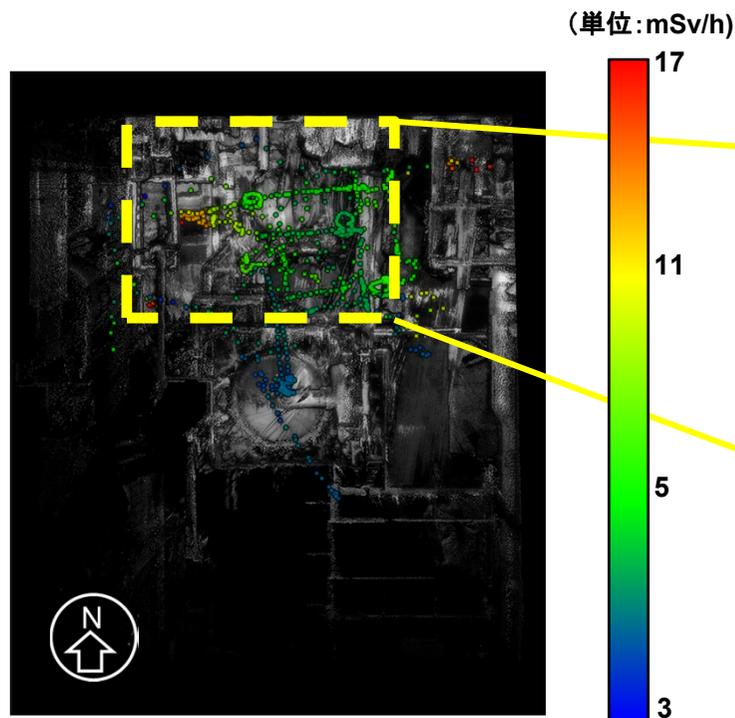
#### ■ 線量率の空間分布の解析結果及び線量率の検証結果〈抜管エリア〉

- ・ RISERの飛跡（測定点）：図①参照
- ・ 飛跡と線量率の空間分布の解析結果：図②参照
- ・ 線量率の検証結果

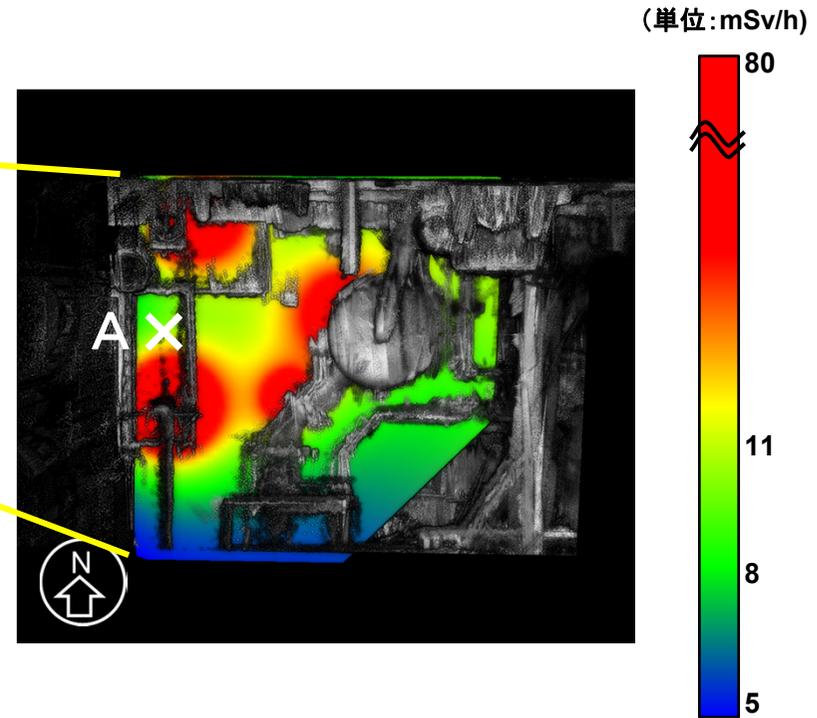
(単位：mSv/h)

図②のAの点において、電離箱式サーベイメータで測定した結果と比較し、同程度の線量率が得られることを確認。

測定点	RISERによる評価結果	サーベイメータによる測定結果
A	13	12



〈図① 飛跡（測定点）〉  
試験場所：1号機タービン建屋地下階〔屋内〕



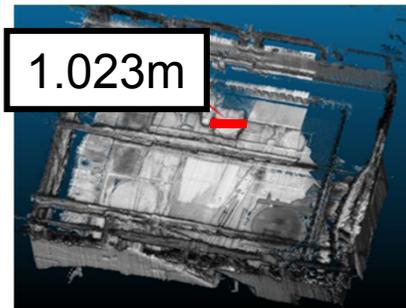
〈図② 線量率の空間分布（図①の黄色枠線内）〉  
試験場所：1号機タービン建屋地下階〔屋内〕

## 4. 飛行空間のモデリング性能の確認結果

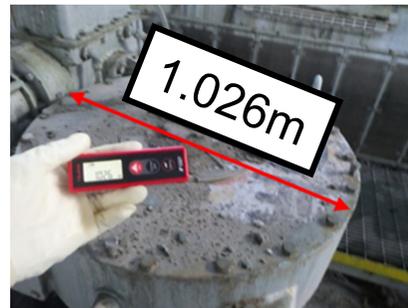
- 飛行空間のモデリング性能（周囲の構造物の3次元復元性能）は、3号機逆洗弁ピット、3号機タービン建屋2階ともに実測値および図面からの寸法とほぼ同等の結果が得られた。

### < 3号機逆洗弁ピット >

対象	評価結果	実測値
フランジ直径	1.023m	1.026m
東西壁面間	9.055m	9.023m



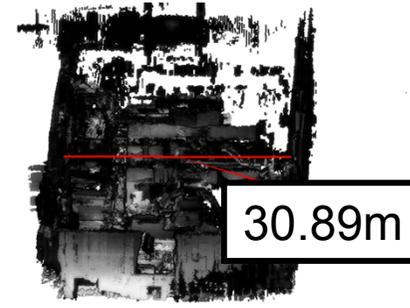
RISERによるモデリング結果



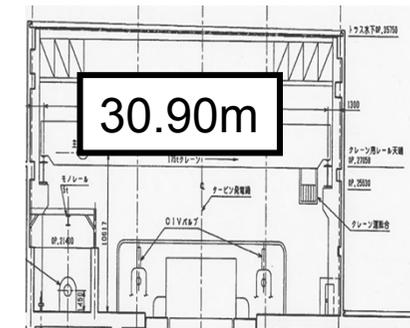
実測定の様子

### < 3号機タービン建屋2階 >

対象	評価結果	実測値
レールスパン	30.89m	30.90m
T/D給水ポンプ室壁面幅	26.29m	26.30m



RISERによるモデリング結果



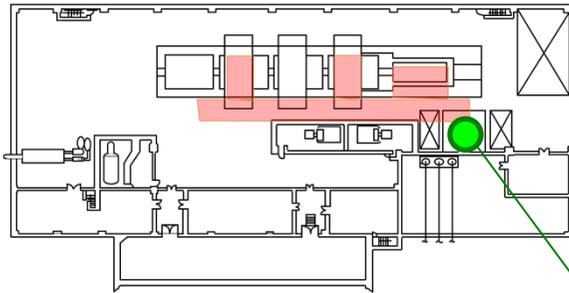
図面からの寸法

## 5. ダスト測定結果

- RISER飛行時におけるダストの舞い上がりについて、3号機タービン建屋2階および1号機タービン建屋地下階における試験時に、ダスト濃度を測定した。結果については下記の通りであり、全面マスク着用基準を超える有意な上昇はなかった。

飛行範囲： 

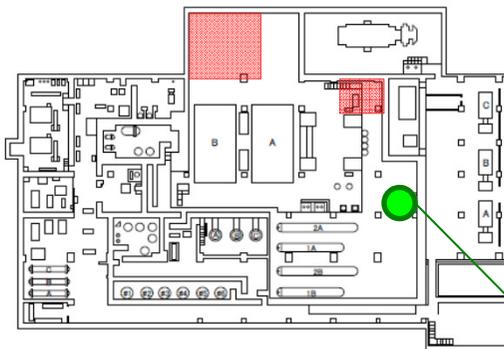
全面マスク着用基準：  $2.0 \times 10^{-4} [\text{Bq}/\text{cm}^3]$



段階	ダスト濃度[Bq/cm <sup>3</sup> ]
作業前	$< 1.0 \times 10^{-5}$ (検出限界値未満)
作業中	$\sim 6.5 \times 10^{-5}$
作業後	$< 1.1 \times 10^{-5}$ (検出限界値未満)

〈図① 3号機タービン2階〉

ダスト濃度測定箇所  
(参考：表面汚染密度  $> 2.6 \text{E}+2 [\text{Bq}/\text{cm}^2]$ )



段階	ダスト濃度[Bq/cm <sup>3</sup> ]
作業前	$< 4.2 \times 10^{-6}$ (検出限界値未満)
作業中	$\sim 1.1 \times 10^{-4}$
作業後	$< 7.0 \times 10^{-6}$ (検出限界値未満)

〈図② 1号機タービン地下階〉

ダスト濃度測定箇所  
(参考：表面汚染密度  $> 2.6 \text{E}+02 [\text{Bq}/\text{cm}^2]$ )

〈ダスト濃度の測定結果〉

## 6. まとめ

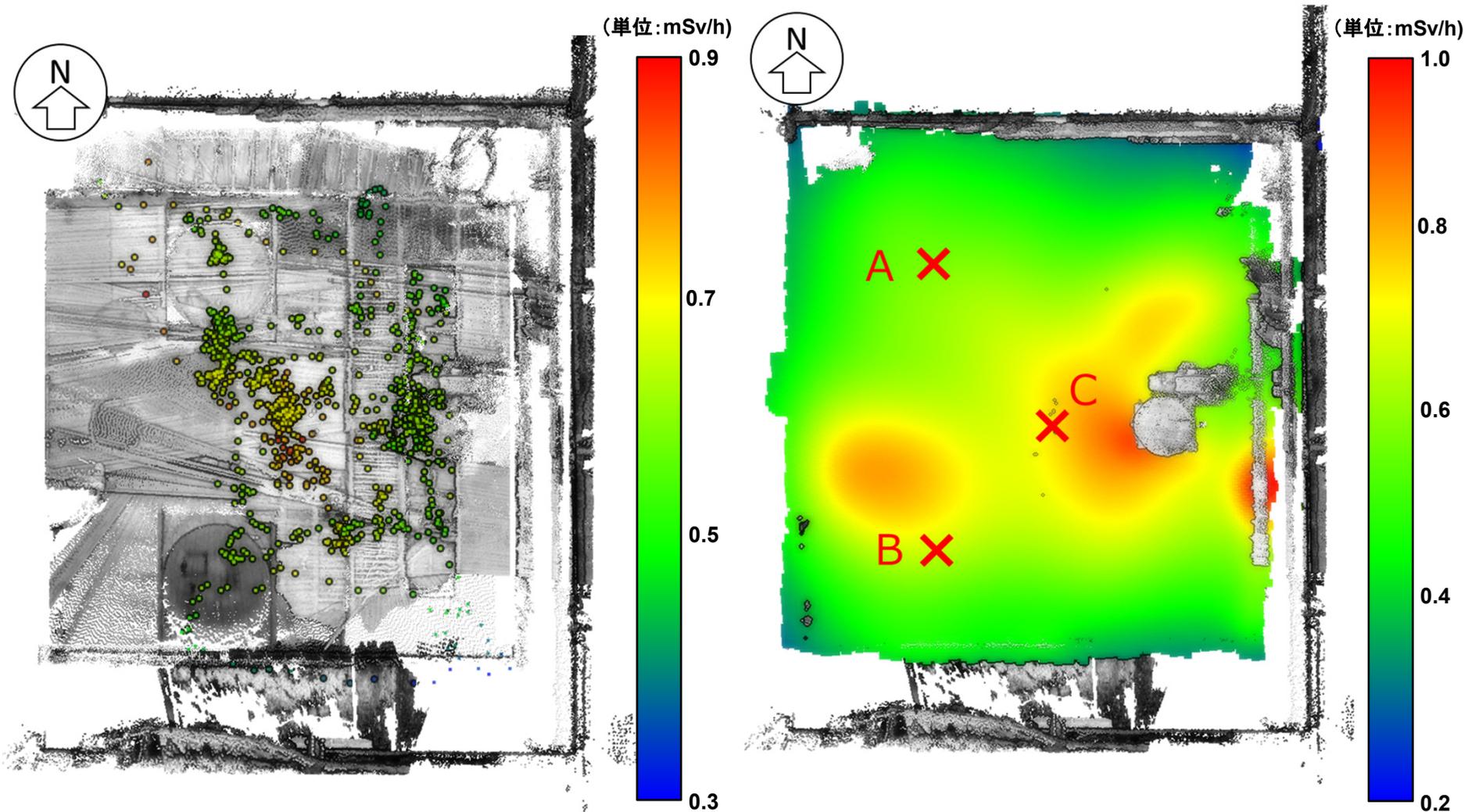
- 適用性試験の結果、放射線計測において留意しなければならない事項があるものの、下表の対策を踏まえて実運用可能であることを確認。今後、原子炉建屋やタービン建屋地下階等の高線量箇所において、被ばく低減を目的に有効活用していく予定。

試験項目	今回得られた知見 (留意事項)	今後の対応 (対策)
飛行性能	RISERが安定して飛行するには、垂直方向の目印となる構造物（床等）が一定以上の幅がないと、その構造物を正しく認識できず、自機位置を誤認するとともにふらつく事象を確認。 ⇒改善完了 (垂直方向の機体制御において、床面までの距離情報の他、天井までの距離情報を加えることで安定飛行可能)	なし
放射線計測	線量率の空間分布を解析する際、構造物の遮へいを自動で考慮できないため、線源と評価したい点の間に大きな構造物がある場合は、電離箱式サーベイメータと差異が生じることを確認。	調査対象エリアをブロック毎（1辺方向毎）とし、遮へい効果分の差異を少なくする等、調査対象・目的に応じた解析を行う。
	調査エリアをくまなく飛行出来ない場合、飛行範囲外の線源の広がりについては正確に評価できないため、ある一定の場所に集中していると仮定したことから電離箱式サーベイメータと差異が生じた。	評価点と調査対象エリアを水平・垂直方向くまなく飛行し、ホットスポット推定されるエリアについては詳細に調査を行う。
モデリング	正確にモデリングできることを確認	なし
ダスト	RISERの飛行に伴うダスト上昇があるものの、マスクの着用基準を超えない範囲であることを確認。	利用する放射線環境に応じて、ダストを監視しながら調査を行う。



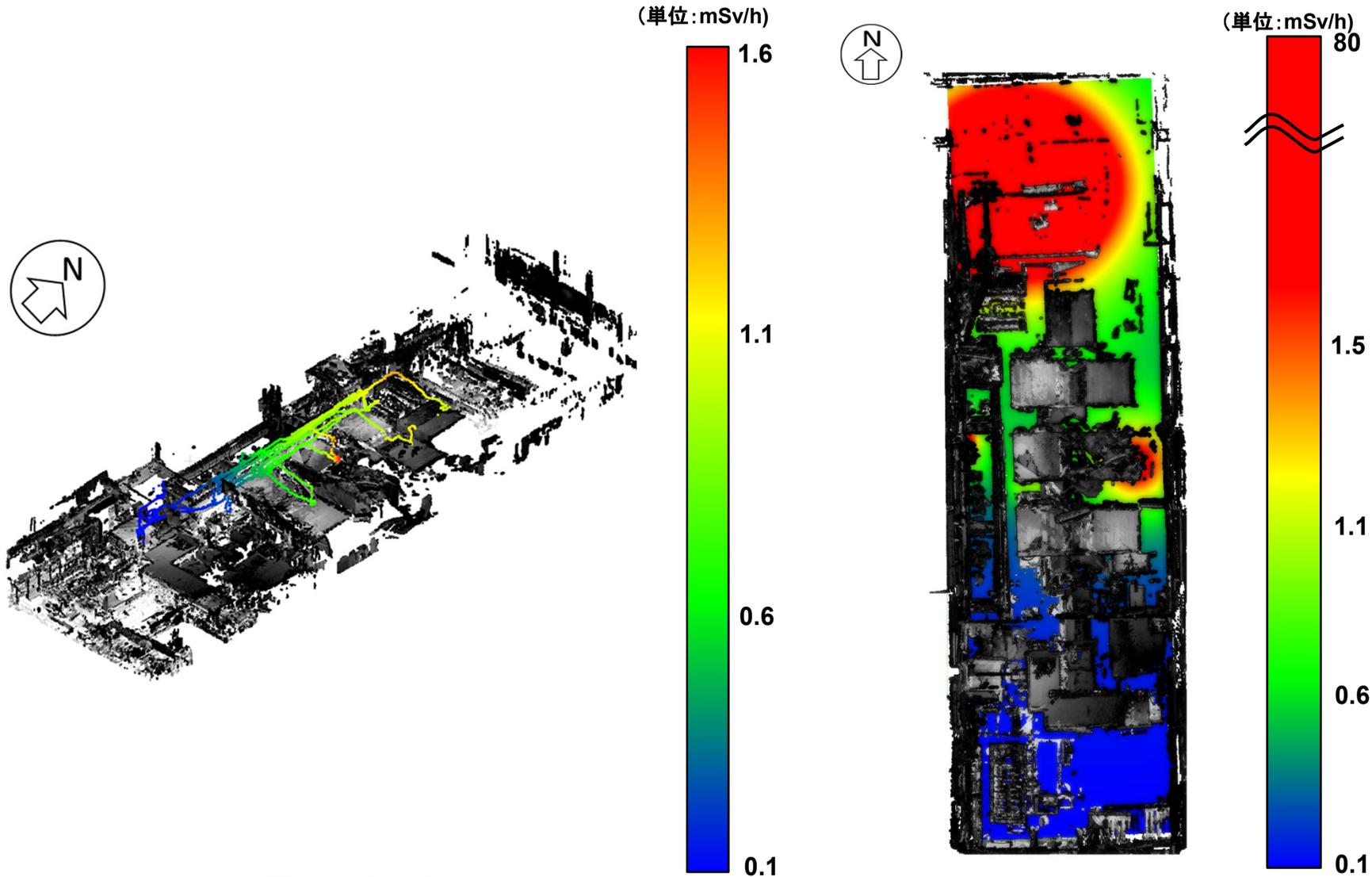
RISER本体

開発元	英国 CREATEC社及びBLUE BEAR社 共同開発機体
線量計	CZT半導体検出器 ～2500mSv/hまで測定可
バッテリー	LiPOバッテリー 10000mAh 22.2V
寸法	W930×D830×H160
重量	約4kg
飛行時間	約15分
カメラ	HDカメラ2台(前方、下方)
搭載センサー	LiDAR (垂直、水平)、加速度センサー、 ジャイロセンサー
特徴	非GPS環境においてもレーザーを使用することにより、自己位置推定をしながら自律飛行し、リアルタイムで汚染状況及び3次元復元図を生成することが可能。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・飛行時は幅2m×高さ3m以上の広さが必要。 (離陸時は幅3m×高さ3m)。また、オペレーターの視界範囲内に限定。</li> <li>・無線通信範囲は、半径135m。</li> </ul>



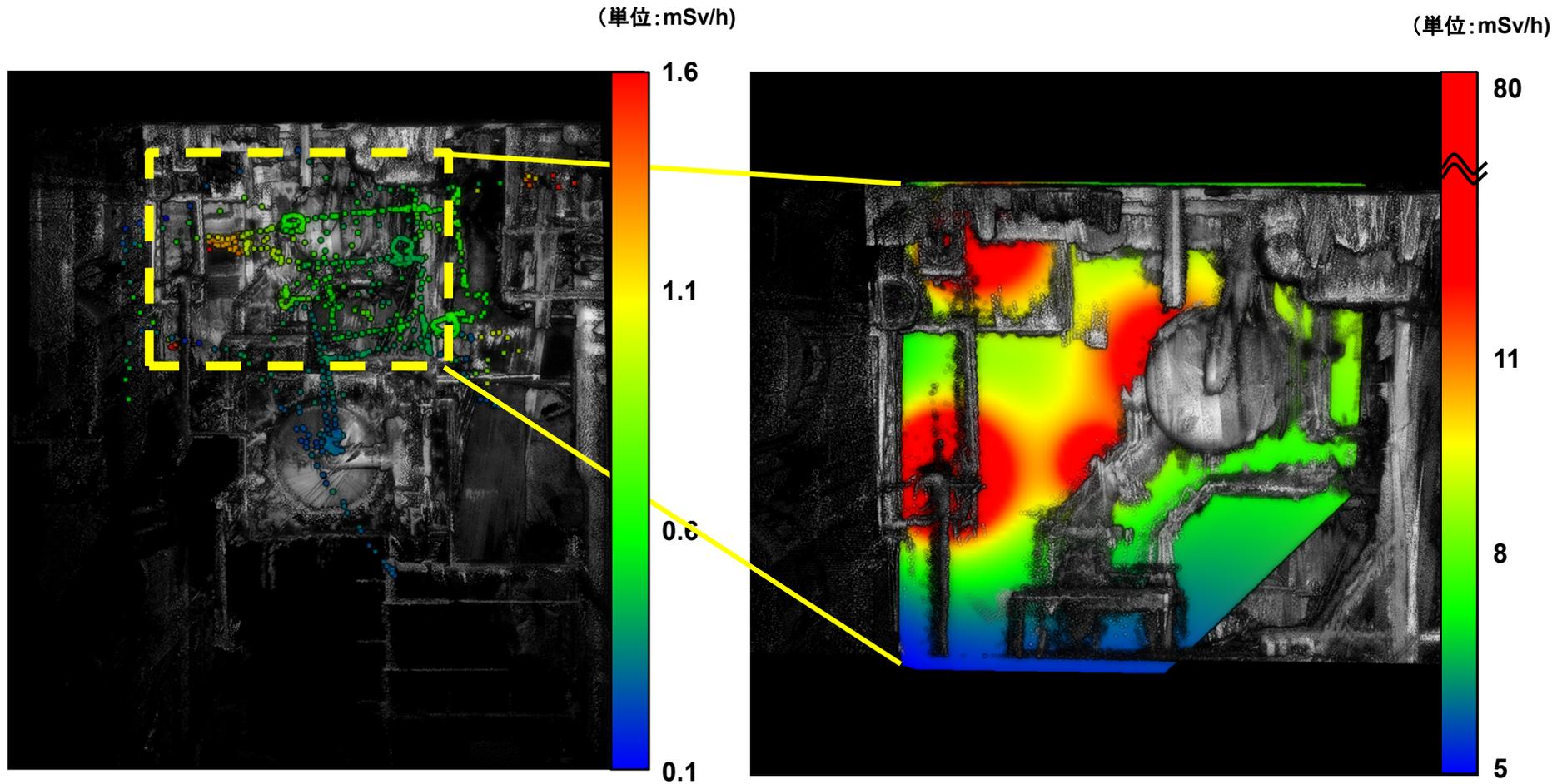
<図① 飛跡 (測定点) >  
試験場所：3号機逆洗弁ピット [屋外]

<図② 線量率の空間分布 (1m高さ) >  
試験場所：3号機逆洗弁ピット [屋外]



<図① 飛跡 (測定点)>  
試験場所：3号機タービン建屋2階 [屋内]

<図② 屋内における線量率の空間分布 (1m高さ)>  
試験場所：3号機タービン建屋2階 [屋内]

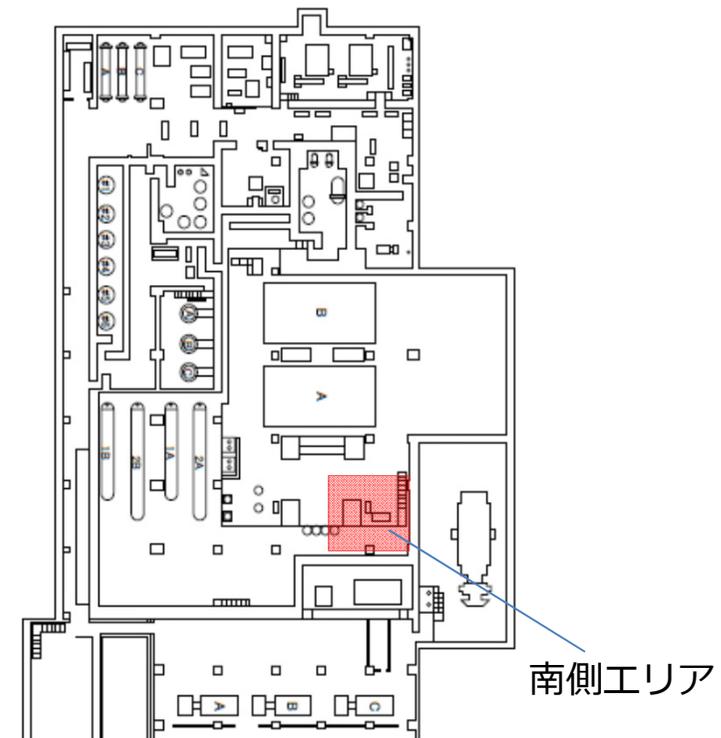


<図① 飛跡 (測定点)>  
試験場所: 1号機タービン建屋地下階 [屋内]

<図② 線量率の空間分布 (図①の黄色枠線内)>  
試験場所: 1号機タービン建屋地下階 [屋内]

## 【参考】1号機タービン建屋地下階<南側エリア>

1号機タービン建屋地下階の南側エリアは、配管や手すり等の構造物が多く、R I S E Rの飛行条件（幅2 m以上、高さ3 m以上の空間が必要）に合致しないため、自律飛行による適用性試験（放射線計測・3Dモデリング）が出来なかった。



<図① 1号機タービン建屋地下階[南側エリア]>