十分な離隔距離の考え方（例）

参考資料１

リスクアセスメントにより、ドローンの異常時に、爆発性雰囲気を生成する可能性があるエリアの近傍や火気の制限があるエリアの近傍へ落下するリスクがあることから、設備周囲の防爆エリアから十分な離隔距離を確保した位置を飛行する飛行ルートを設定した。

【リスク対策】

* 場内通路の幅員を考慮し、最大限に確保できる離隔距離（30m）を保持しながら、風速に応じて飛行高度を上下させることで、ドローンが上空で制御不能となった場合の「落下予測範囲」が常に30m以内（防爆エリア外）となるように調整するリスク対策を実施した。（飛行ルートの概念図参照）
* 風速と飛行高度の関係の算出根拠については、次ページ参照。

風速と飛行高度の関係

（離隔距離30mの場合）

|  |  |
| --- | --- |
| 風速 | 飛行高度 |
| 6.5m/s以下 | 120m |
| 7.0m/s以下 | 80m |
| 7.5m/s以下 | 50m |
| 7.5m/sを  超えた場合 | 飛行中止 |

飛行イメージ図

風速と飛行高度の関係の算出根拠

十分な離隔距離を確保するための風速と飛行高度の関係について、以下２つのステップに基づき算定した。

1. 風速とドローンが風に流される距離の関係の推定
2. 地上風速とドローンの飛行高度における風速の関係の推定

①について、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／　性能評価基準等の研究開発／無人航空機等を活用した物流システムの性能評価手法等に関する研究開発」（平成30年３月：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、委託先株式会社自律制御システム研究所）及び野村卓史、小林俊熙「ドローンの飛翔モデルに関する基礎的検討」（平成29年度日本風工学会年次研究発表会）、さらに選定したドローンメーカーによる落下試験結果を参照し、以下の式による推定を行った。

■ドローンが受ける空気抵抗の算定式：F=ρC（v-u）2×A/2

ここで、ρ：風の密度（1.2kg/m3）、C：抵抗係数（=0.4、水平圧の場合で参考文献より引用）、v-u：相対速度（ここでは、風速の影響のみを仮定）、A：本体の受風面積（選定したドローンにより変動）

■ドローンの加速度：a=F/m

ここで、m：ドローンの重量（本計画では7.5kg）

■t秒に移動する水平距離：L=(at^2)/2

ドローンメーカーによる落下試験結果より、高度120mから自由落下の場合約12秒、パラシュートありの場合約30秒と推定される。

　②について、以下の式より、観測風速v(z0)とドローンの飛行高度での風速v(z)の関係を推定した。本推定に従い、ドローンの飛行高度における風速10m/sを超えないよう、地上側風速7.5m/sという実験中止基準を設定した。

v(z)= v(𝑧0)(z/z0)^α

ここで、z0：風速観測地点の高さ（7.5[m]）

v(z0)：風速観測値[m/s]

α：地表面粗度区分IIを仮定し、べき指数は、0.15[-]とした。

* 本計算はドローン自体の初速を0 m/sとして計算しているが、必要に応じ、ドローンモータの不時停止時等の非常事態において想定される、水平方向速度を加味した安全距離を確保　することを推奨する。