

原子力科学研究所における航空機落下確率に関する 評価について

Assessment of Probability of Aircraft Crashes
for Nuclear Science Research Institute

神川 豊 鈴木 真琴 安掛 寿紀 村上 貴彦
森田 祐介 椎名 秀徳 福島 学 平根 伸彦
大内 靖弘

Yutaka KAMIKAWA, Makoto SUZUKI, Toshiki AGAKE, Takahiko MURAKAMI
Yusuke MORITA, Hidenori SHIINA, Manabu FUKUSHIMA, Nobuhiko HIRANE
and Yasuhiro OUCHI

原子力科学研究部門
原子力科学研究所
保安管理部

Department of Operational Safety Administration
Nuclear Science Research Institute
Sector of Nuclear Science Research

March 2024

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートはクリエイティブ・コモンズ 表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。
本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の
条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）
より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 JAEA イノベーションハブ 研究成果利活用課
〒 319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松 4 番地 49
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under
the same terms and conditions as CC-BY.

For inquiries regarding this report, please contact Institutional Repository and Utilization Section,
JAEA Innovation Hub, Japan Atomic Energy Agency.

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1112, Japan

E-mail: ird-support@jaea.go.jp

原子力科学研究所における航空機落下確率に関する評価について

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門

原子力科学研究所 保安全管理部

神川 豊、鈴木 真琴⁺¹、安掛 寿紀⁺¹、村上 貴彦⁺²、森田 祐介⁺³、
椎名 秀徳、福島 学、平根 伸彦⁺¹、大内 靖弘⁺¹

(2023 年 12 月 14 日受理)

航空機落下事故に関するデータが原子力規制庁により更新されたことに伴い、原子力科学研究所における航空機落下確率を再評価するため、経済産業省原子力安全・保安院「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」に基づき評価を行い、原子力科学研究所の各施設における航空機落下確率を評価した。評価の結果、航空機落下確率の総和は最大となる放射性廃棄物処理場において 5.68×10^{-8} (回／(炉・年)) であり、航空機落下を「想定される外部人為事象」として設計上考慮する必要があるか否かの基準である 10^{-7} (回／(炉・年)) を超えないことを確認した。

原子力科学研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4

+1 研究炉加速器技術部

+2 臨界ホット試験技術部

+3 バックエンド技術部

Assessment of Probability of Aircraft Crashes for Nuclear Science Research Institute

Yutaka KAMIKAWA, Makoto SUZUKI⁺¹, Toshiki AGAKE⁺¹,
Takahiko MURAKAMI⁺², Yusuke MORITA⁺³, Hidenori SHIINA,
Manabu FUKUSHIMA, Nobuhiko HIRANE⁺¹ and Yasuhiro OUCHI⁺¹

Department of Operational Safety Administration
Nuclear Science Research Institute, Sector of Nuclear Science Research
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 14, 2023)

Owing to the publication of the latest data about aircraft crashes by Nuclear Regulation Authority (NRA), it was necessary to re-evaluate the probabilities of aircraft crashes for Nuclear Science Research Institute (NSRI). By using of the assessment method provided in “Regulatory Guide of the Assessment Standard for Probability of Airplane Crash on a Nuclear Power Reactor Facility”, we re-evaluated the probabilities of aircraft crashes against the nuclear facilities in NSRI. As a result of the evaluations, the sum of the probabilities of aircraft crashes against Waste Treatment Facilities (maximum probability among all nuclear facilities in NSRI) is 5.68×10^{-8} (times/(reactor · year)) which is lower than 10^{-7} (times/(reactor · year)) that is the assessment criterion whether aircraft crashes is considered to be “anticipated external human induced events” in design basis or not.

Keywords: Probability of Aircraft Crashes, Survey Methods of Airway and Air Traffic,
Nuclear Regulation, External Human Induced Events

+1 Department of Research Reactor and Tandem Accelerator
+2 Department of Criticality and Hot Examination Technology
+3 Department of Decommissioning and Waste Management

目 次

1. 序論	1
2. 法令等における要求事項	2
2.1 許可基準規則及び許可基準規則解釈における要求事項	2
2.2 使用許可基準規則及び使用許可基準規則解釈における要求事項	2
2.3 要求事項に対する基本的な考え方	3
3. 評価対象事故の分類及び選定	4
4. 航空機落下確率の計算手法	8
4.1 計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における航空機落下確率	8
4.2 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の航空機落下確率	9
4.3 有視界飛行方式民間航空機の航空機落下確率	10
4.4 自衛隊機又は米軍機の訓練空域外を飛行中の航空機落下確率	10
4.5 自衛隊機の基地－訓練空域間を往復時の航空機落下確率	11
5. 航空機落下確率の算出結果	12
5.1 計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における対象施設への 航空機落下確率	12
5.2 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の対象施設への航空機落下確率	12
5.3 有視界飛行方式民間航空機の対象施設への航空機落下確率	12
5.4 自衛隊機又は米軍機の訓練空域外を飛行中の対象施設への航空機落下確率	12
5.5 自衛隊機の基地－訓練空域間を往復時の対象施設への航空機落下確率	12
5.6 対象施設ごとの航空機落下確率の総和	12
6. 結論	14
謝辞	15
参考文献	16
用語集	19
付録 1 離着陸時の事故における落下地点確率分布関数 $\Phi_{d,a}(r, \theta)$ の算出方法	38
付録 2 原子力科学研究所、基地等の座標、想定飛行範囲内に原子力科学研究所が 存在するか否かの判断及び想定飛行範囲の面積 S_{se} の算出方法	42
付録 3 航空路、航空交通量等の調査方法	47

Contents

1. Introduction	1
2. Criteria in Japanese laws and regulations	2
2.1 Criteria specified by rules and interpretations of NRA for Research and Test Reactors	2
2.2 Criteria specified by rules and interpretations of NRA for Nuclear Fuel Material Usage Facilities	2
2.3 Basic approach for criteria	3
3. Classifications and selections of accidents to be evaluated	4
4. Calculation methods of probability of aircraft crashes	8
4.1 Probability of commercial aircrafts by Instrument Flight Rules crashing at takeoff and landing	8
4.2 Probability of commercial aircrafts by Instrument Flight Rules crashing during cruising	9
4.3 Probability of commercial aircrafts by Visual Flight Rules crashing	10
4.4 Probability of Japan Self-Defense Forces aircrafts or United States Armed Forces aircrafts crashing during cruising out of training areas	10
4.5 Probability of Japan Self-Defense Forces aircrafts crashing during cruising between air base and training areas	11
5. Results of calculations	12
5.1 Probability of commercial aircrafts by Instrument Flight Rules crashing at takeoff and landing against the nuclear facilities in NSRI	12
5.2 Probability of commercial aircrafts by Instrument Flight Rules crashing during cruising against the nuclear facilities in NSRI	12
5.3 Probability of commercial aircrafts by Visual Flight Rules crashing against the nuclear facilities in NSRI	12
5.4 Probability of Japan Self-Defense Forces aircrafts or United States Armed Forces aircrafts crashing during cruising out of training areas against the nuclear facilities in NSRI	12
5.5 Probability of Japan Self-Defense Forces aircrafts crashing during cruising between air base and training areas against the nuclear facilities in NSRI	12
5.6 Sum of probabilities of aircraft crashes against the nuclear facilities in NSRI	12
6. Conclusion	14

Acknowledgements	15
References	16
Glossary	19
Appendix 1 Calculation methods of probability distribution function $\Phi_{d,a}(r, \theta)$ on aircraft crashes at takeoff and landing	38
Appendix 2 Coordinates of NSRI, air base, and the like, determinations whether NSRI is located within estimated flight range or not and calculation methods of surface area of estimated flight range S_{se}	42
Appendix 3 Survey methods of airway, air traffic, and the like	47

図表リスト

表 1	事故分類に対する評価の要否整理表	22
表 2	計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における航空機 落下確率算出に用いたパラメータ	23
表 3	計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の航空機落下確率 算出に用いたパラメータ	24
表 4	有視界飛行方式民間航空機の航空機落下確率算出に用いたパラメータ	25
表 5	自衛隊機又は米軍機の訓練空域外を飛行中の航空機落下確率 算出に用いたパラメータ	26
表 6	自衛隊機の基地－訓練空域間を往復時の航空機落下確率算出 に用いたパラメータ	27
表 7	計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における航空機 落下確率の算出結果	28
表 8	計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の航空機落下確率の算出結果	28
表 9	有視界飛行方式民間航空機の航空機落下確率の算出結果	29
表 10	自衛隊機又は米軍機の訓練空域外を飛行中の航空機落下確率の算出結果	29
表 11	自衛隊機の基地－訓練空域間を往復時の航空機落下確率の算出結果	29
表 12	航空機落下確率の評価結果 (JRR-3)	30
表 13	航空機落下確率の評価結果 (NSRR)	30
表 14	航空機落下確率の評価結果 (STACY)	31
表 15	航空機落下確率の評価結果 (放射性廃棄物処理場)	31
表 16	航空機落下確率の評価結果 (核燃料物質使用施設等)	32
図 1	原子力科学研究所の敷地内における原子炉施設及び核燃料物質 使用施設等の配置図	33
図 2	茨城空港アプローチチャート	34
図 3	原子力科学研究所近傍の航空路	36
図 4	原子力科学研究所近傍の訓練空域及び想定飛行範囲並びに 主要な自衛隊基地及び米軍基地	37

1. 序論

原子力科学研究所においては、JRR-3、NSRR、STACY 及び放射性廃棄物処理場の運転再開に向けて、平成 25 年 12 月 18 日に施行された「試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下「許可基準規則」という。）¹⁾の第 6 条「外部からの衝撃による損傷の防止」第 3 項の適合性確認（以下「新規制基準適合性確認」という。）のために、航空機落下確率の評価を行った。

また、核燃料物質使用施設等においても「使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下「使用許可基準規則」という。）²⁾第 11 条「外部からの衝撃による損傷の防止」第 3 項の適合性確認を行う必要があることから、航空機落下確率の評価を実施した。原子力科学研究所の敷地内における原子炉施設及び核燃料物質使用施設等の配置を図 1 に示す。

上記の評価以降、原子力規制庁から定期的に、航空機落下事故に関するデータをまとめた報告書（NRA 技術ノート）が公開されており、当該報告書を基に航空機落下確率の評価を行ってきた。今般、当該報告書が新たに公開されるとともに、令和 5 年 3 月 31 日付けの原子力規制庁 被規制者向け情報通知文書（NRA Information Notice）にて、「航空機落下事故に関するデータ（平成 13～令和 2 年）における軍用機事故データ調査方法の改善及びそれに伴う当該データの増加」（NIN4-20230331-tc）³⁾が情報共有されたこと、評価に係る航空機の運航状況が変わったこと等を踏まえて、再評価を実施した。

本報告書は、これら最新の情報を反映した再評価の結果をまとめたものである。

2. 法令等における要求事項

航空機落下に係る法令等の要求事項として、許可基準規則¹⁾及び「試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（以下「許可基準規則解釈」という。）⁴⁾並びに使用許可基準規則²⁾及び「使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（以下「使用許可基準規則解釈」という。）⁵⁾において、以下の通り規定されている。

2.1 許可基準規則及び許可基準規則解釈における要求事項

許可基準規則¹⁾第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）

第3項

安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される試験研究用等原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

許可基準規則解釈⁴⁾第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）

第8項

第3項に規定する「試験研究用等原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）」とは、敷地及び敷地周辺の状況をもとに選択されるものであり、飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害等をいう。なお、上記の「航空機落下」については、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成14・07・29 原院第4号（平成14年7月30日原子力安全・保安院制定））等に基づき、防護設計の要否について確認する。

2.2 使用許可基準規則及び使用許可基準規則解釈における要求事項

使用許可基準規則²⁾第11条（外部からの衝撃による損傷の防止）

第3項

使用前検査対象施設は、工場等内又はその周辺において想定される当該使用前検査対象施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

使用許可基準規則解釈⁵⁾第 11 条（外部からの衝撃による損傷の防止）

第 5 項

第 3 項に規定する「当該使用前検査対象施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）」とは、敷地及び敷地周辺の状況を基に選択されるものであり、飛来物、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害等をいう。

2.3 要求事項に対する基本的な考え方

要求事項（外部からの衝撃による損傷の防止）のうち、飛来物（航空機落下）を「想定される外部人為事象」として設計上考慮する必要があるか否かを判断するため、経済産業省原子力安全・保安院「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」（平成 14 年 7 月 30 日制定、平成 21 年 6 月 30 日一部改正）（以下「評価基準」という。）⁶⁾に基づき、原子力科学研究所の原子炉施設（JRR-3、NSRR、STACY 及び放射性廃棄物処理場）及び核燃料物質使用施設等（以下「対象施設」という。）における航空機落下確率について評価した。

具体的な判断基準として、評価基準⁶⁾には以下の 2 点が示されている。（文意を明確にするため、著者にて一部加筆修正）

- (1) 評価基準における標準的な評価方法に基づき、原子炉施設へ航空機が落下する確率を評価し、それら評価結果の総和が 10^{-7} （回／（炉・年））を超えないこと
- (2) (1)を満足しない場合には、当該原子炉施設の立地点における状況を現実的に考慮した評価を行い、その妥当性を確認した上で、当該原子炉施設への航空機落下の発生確率の総和が 10^{-7} （回／（炉・年））を超えないこと

上記(1)に基づき、評価基準⁶⁾における標準的な評価方法により航空機落下確率を算出し、航空機落下確率の総和が 10^{-7} （回／（炉・年））を超えるか否かを確認した。また、航空機落下確率の総和が 10^{-7} （回／（炉・年））を超える場合は、上記(2)に基づき、対象施設の立地点における状況を現実的に考慮した評価を行い、航空機落下確率の総和が 10^{-7} （回／（炉・年））を超えるか否かを確認することとした。

詳細な航空機落下確率の計算手法及び算出に用いるパラメータ並びにその考え方は、3 章及び 4 章に示す。評価に用いるデータは、「NTEN-2023-2001 航空機落下事故に関するデータ（平成 13～令和 2 年）」（原子力規制庁）⁷⁾、「暦年・年度別空港管理状況調書」（国土交通省航空局）⁸⁾及び「Aeronautical Information Publication Japan」（国土交通省航空局）（以下「AIP」という。）より引用した。なお、計測によって算出するパラメータについては、「地理院地図（電子国土 Web）」（国土交通省国土地理院提供）⁹⁾等を用いて算出した。

3. 評価対象事故の分類及び選定

評価基準⁶⁾より、想定される航空機落下事故は以下の5つの事故に分類される。

- (1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故
 - ① 飛行場での離着陸時における落下事故
 - ② 航空路を巡航中の落下事故
- (2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故
- (3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故
 - ① 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故
 - ② 基地－訓練空域間を往復時の落下事故

これらに対する評価の要否を次のとおり検討した。

(1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故

① 飛行場での離着陸時における落下事故

原子力科学研究所の周辺には、約33kmの距離に茨城空港（百里基地）が、約78kmの距離に成田空港が位置している。

評価基準⁶⁾には、計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における落下事故の発生確率評価の要否判断基準が以下のとおり記載されている。（文意を明確にするため、著者にて一部加筆修正）

施設と飛行場との位置関係を確認し、以下の条件のいずれかを満たした場合には、離着陸時の航空機落下の発生確率評価を行う必要はないものとする。

- i) 飛行場からの最大離着陸地点（航空路誌（AIP）に記載された離着陸経路において着陸態勢に入る地点あるいは離陸態勢を終える地点をいう。）までの直線距離を半径とする範囲内に原子炉施設が存在しない場合
- ii) 最大離着陸地点までの直線距離を半径とする範囲内に原子炉施設が存在する場合であっても、飛行場の滑走路端から滑走路方向に対して±60°の扇型区域から外れる場合

条件 i)について、評価基準 ⑥で「最大離着陸地点」*1が上記のとおり定義されており、具体例として AIP におけるアプローチチャートの「IAF (Initial Approach Fix)」又は「アプローチにおける飛行経路中の最も空港から離れた地点」が示されている。成田空港については、AIP を確認した結果、原子力科学研究所は最大離着陸地点よりも十分に離れていることを成田空港のアプローチチャート¹⁰⁾により確認したため、(1) ①の評価において考慮する必要はない。一方、茨城空港においてはアプローチチャート「ILS Y or LOC Y RWY03R」における IAF である、ITAKO (IAF)の 30.0 ノーティカルマイル（以下単に「NM」と表記する。）(=55.56km*2) が全アプローチチャートの中で最も遠方にあるため、30.0NM が最大離着陸地点までの直線距離となる。したがって、原子力科学研究所は茨城空港について、i)の条件を満たしていない。最大離着陸地点の設定に用いた茨城空港のアプローチチャートを図 2 に示す。

条件 ii)について、「茨城空港の滑走路延長線」と「原子力科学研究所と茨城空港を結ぶ直線」のなす角は約 10°であり、茨城空港の滑走路延長線に対して周方向両側にそれぞれ 60°の角度（すなわち、中心角 120°）を有する扇型区域内に原子力科学研究所が存在することは明らかであるため、ii)の条件は原子力科学研究所において満たしていない。

以上より、原子力科学研究所は茨城空港について、i)及び ii)の条件をいずれも満たしていないことを確認したため、茨城空港の離着陸に関して、(1) ①の評価を行う必要があると判断した。原子力科学研究所と茨城空港の位置関係については、付録 1 にまとめた。

② 航空路を巡航中の落下事故

AIP にて公示されているエンルートチャート¹¹⁾を確認し、原子力科学研究所上空に航空路 R211 及び広域航法 (RNAV) 経路 Y30 が存在することから、(1) ②の評価を行う必要があると判断した。原子力科学研究所近傍の航空路を図 3 に示す。

(2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

評価基準 ⑥に基づき、有視界飛行方式により飛行する民間航空機の対象施設への航空機落下確率を評価した。

*1 評価基準 ⑥に「離陸態勢を終える地点」の具体的例示はないが、国際民間航空機関 (ICAO) の定義¹²⁾に基づく、「Takeoff」の定義として「滑走路標高から 35 feet の高度に達するか、ギアアップの選択をするまでのいずれか最初に行われるまでの段階」（著者にて翻訳）とある。また、次の段階である「Initial climb」の定義として「離陸後、最初の規定された出力減少か、滑走路標高から 1,000feet に達するまでのいずれか最初に行われるまでの段階」（著者にて翻訳）とある。したがって、Initial climb の段階まで考慮したとしても、空港から数 NM 離れた地点において、Initial climb の次の段階、すなわち Enroute に移行するといえるため、原子力科学研究所においては、基本的にアプローチチャートのみを考慮すればよいと考える。

*2 1NM=1,852m で換算した。以後換算する場合も同様とした。

(3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故

① 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故

原子力科学研究所上空に訓練空域が存在しない¹¹⁾ため、評価基準⁶⁾に基づき、訓練空域外を飛行中の自衛隊機又は米軍機の対象施設への航空機落下確率を評価した。

② 基地－訓練空域間を往復時の落下事故

原子力科学研究所上空及び近傍に回廊及び移動経路は存在しないが、太平洋沖の上空に自衛隊及び米軍の訓練空域（Area 1、Area E 及び R-121）が存在している¹¹⁾。原子力科学研究所周辺の主要な基地と訓練空域との往復時の飛行範囲として想定される区域（以下「想定飛行範囲」という。）内に原子力科学研究所が存在するため、(3) ②の評価を行う必要があると判断した。原子力科学研究所周辺の訓練空域及び想定飛行範囲並びに主要な自衛隊基地及び米軍基地を図 4 に示す。なお、主要な自衛隊基地及び米軍基地とは、本評価においては百里基地（自衛隊）、入間基地（自衛隊）、横田基地（米軍）及び厚木基地（自衛隊・米軍）を指す。

評価基準⁶⁾には、「基地、訓練空域及び原子炉施設の位置関係並びに基地と訓練空域との間の飛行頻度及び飛行経路を考慮して原子炉施設への航空機落下の確率を評価する。」との記載があることから、原子力科学研究所においては、以下の実状を踏まえて百里基地からの自衛隊機の飛来のみを評価対象とした。なお、原子力科学研究所、基地等の座標及び想定飛行範囲内に原子力科学研究所が存在するか否かの判断方法については、付録 2 にまとめた。

- ・原子力科学研究所は百里基地－自衛隊訓練空域（Area 1 及び Area E）間の想定飛行範囲に存在し、かつ百里基地は戦闘機を保有しており、訓練等に伴う往復頻度を考慮し、評価対象とした。
- ・原子力科学研究所は入間基地－自衛隊訓練空域（Area 1 及び Area E）間の想定飛行範囲内に存在しているが、入間基地は戦闘機を保有せず輸送機等が中心であり¹³⁾、戦闘機と比べて訓練頻度が少ないと考えられること及び入間基地所管の訓練空域（Area 3 及び Area H）が存在する¹⁴⁾ことを踏まえて、評価対象外とした。
- ・原子力科学研究所は厚木基地－自衛隊訓練空域（Area 1 及び Area E）間の想定飛行範囲内に存在しているが、厚木基地は海上自衛隊の使用基地であり、海上自衛隊の保有する航空機は輸送機、哨戒機等であり戦闘機を保有しておらず¹⁵⁾、戦闘機と比べて訓練頻度が少ないと考えられること、並びに厚木基地における至近の訓練空域は静岡県沖訓練空域（Area 4）及び群馬県等上空訓練空域（Area 3 及び Area H）である¹⁴⁾ことを踏まえて、評価対象外とした。なお、米軍機の飛来に関しては、原子力科学研究所は厚木基地－米軍訓練空域（R-121）間の想定飛行範囲外に存在するため、評価対象外とした。
- ・原子力科学研究所は横田基地－米軍訓練空域（R-121）間の想定飛行範囲外に存在するため、評価対象外とした。

以上の検討の結果、5つの事故分類すべてについて評価を行った。事故分類に対する評価の可否整理表を表1に示す。

4. 航空機落下確率の計算手法

4.1 計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における航空機落下確率

計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における対象施設への航空機落下確率は、評価基準⑥に基づき(1)式で算出した。

$$P_{d,a} = f_{d,a} \cdot N_{d,a} \cdot A \cdot \Phi_{d,a}(r, \theta) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$P_{d,a}$	: 対象施設への離着陸時の航空機落下確率	(回／(炉・年))
$f_{d,a}$	: 対象航空機の国内での離着陸時事故率 ($= D_{d,a} / E_{d,a}$)	(回／離着陸回)
$D_{d,a}$	: 国内での離着陸時事故件数	(回)
$E_{d,a}$	: 国内での離着陸回数	(離着陸回)
$N_{d,a}$	: 当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数	(離着陸回／年)
A	: 対象施設の標的面積 (落下時に対象施設が影響を受ける建物の面積)	(km^2 ／炉)
$\Phi_{d,a}(r, \theta)$	: 離着陸時の事故における落下地点確率分布関数	($1/\text{km}^2$)

離着陸時の事故における落下地点確率分布関数 $\Phi_{d,a}(r, \theta)$ は、滑走路端から距離 r 、滑走路中心線（滑走路延長線）から角度 θ として、離陸時及び着陸時において、ある地点における航空機落下事故の生じやすさの程度を単位面積当たりの数値で表した関数である。この関数は、過去の事故事例での落下位置を基に推定すべきであるが、茨城空港における計器飛行方式民間航空機の離着陸による対象事故データが平成 22 年の開港以来無いため、滑走路端から最大離着陸地点までの直線距離 r_0 を半径とし、滑走路延長線に対して周方向両側にそれぞれ 60° の角度（すなわち、中心角 120° ）を有する扇型面積を滑走路両方向から離着陸することを考慮し 2 倍した面積 $A_{d,a}$ に様な分布、あるいは、周方向で正規分布を仮定し、いずれか厳しい方を用いた。

(一様分布)

$$\Phi(r_0, \theta) = \frac{1}{A_{d,a}} (1/\text{km}^2)$$

$$A_{d,a} = \frac{2}{3} \pi r_0^2 (\text{km}^2)$$

(正規分布)

$$\Phi(r_p, \theta) = \frac{1}{A_{d,a}} f(x) (1/\text{km}^2)$$

$$A_{d,a} = \frac{2}{3} \pi r_0^2 (\text{km}^2)$$

$$f(x) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \cong 2.1 \times \exp\left(\frac{-30.42x^2}{\pi^2 r_p^2}\right)$$

$$A = \frac{2}{3}\pi r_p$$

$$\sigma = \frac{\pi r}{3 \times 2.6} \quad (\text{信頼度区間 99\% のとき})$$

r_0	: 滑走路端から最大離着陸地点までの直線距離	(km)
x	: 滑走路軸上から対象施設までの距離 (周方向)	(km)
r_p	: 滑走路端から対象施設までの距離 (径方向)	(km)
$A_{d,a}$	: 半径 r_0 、中心角 120° の扇型面積を 2 倍した面積	(km ²)

原子力科学研究所の計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における航空機落下確率の算出に用いた各パラメータを表 2 に示す。対象施設の中で JRR-3 が滑走路延長線に最も近いと見做され、滑走路軸上から対象施設までの距離 (周方向) x 及び滑走路端から対象施設までの距離 (径方向) r_p は JRR-3 の座標にて算出した値を全施設共通で用いた。また、離着陸時の事故における落下地点確率分布関数 $\Phi_{d,a}(r, \theta)$ の算出方法については、付録 1 にまとめた。

4.2 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の航空機落下確率

計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の対象施設への航空機落下確率は、評価基準⁶⁾に基づき(2)式で算出した。

$$P_c = \frac{f_c \cdot N_c \cdot A}{W} \dots\dots\dots (2)$$

P_c	: 対象施設への巡航中の航空機落下確率	(回 / (炉・年))
f_c	: 単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率 ($= G_c / H_c$)	(回 / (飛行回・km))
G_c	: 巡航中事故件数	(回)
H_c	: 延べ飛行距離	(飛行回・km)
N_c	: 評価対象とする航空路等の年間飛行回数	(飛行回 / 年)
A	: 対象施設の標的面積	(km ² / 炉)
W	: 航空路幅	(km)

原子力科学研究所の計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の航空機落下確率の算出に用いた各パラメータを表 3 に示す。

本評価において、原子力科学研究所上空を飛行する可能性のある航空路（以下「評価対象航空路」という。）は、航空路 R211 及び RNAV 経路 Y30 とした。評価対象航空路の航空路幅 W は AIP、飛行方式設定基準及び航空路等暫定設定基準を参照し、パラメータとして用いた。なお、評価対象航空路のうち RNAV 経路については、評価基準 ⑥に基づき航法精度を航空路の片側の幅とみなして用いることとし、RNAV 経路 Y30 の航法仕様は RNAV5 であるため、全幅 10NM (=18.52km) を航空路幅とした。

航空路の選定、航空路幅等を理解する上で参考になる情報を付録 3 にまとめた。

4.3 有視界飛行方式民間航空機の航空機落下確率

有視界飛行方式民間航空機の対象施設への航空機落下確率は、評価基準 ⑥に基づき(3)式で算出した。

$$P_v = \frac{f_v}{S_v} (A \cdot \alpha) \quad \dots\dots\dots (3)$$

P_v	：対象施設への航空機落下確率	(回／(炉・年))
f_v	：単位年当たりの落下事故率	(回／年)
S_v	：全国土面積	(km ²)
A	：対象施設の標的面積	(km ² ／炉)
α	：対象航空機の種類による係数	

原子力科学研究所の有視界飛行方式民間航空機の航空機落下確率の算出に用いた各パラメータを表 4 に示す。

4.4 自衛隊機又は米軍機の訓練空域外を飛行中の航空機落下確率

自衛隊機又は米軍機の訓練空域外を飛行中の対象施設への航空機落下確率は、評価基準 ⑥に基づき(4)式で算出した。

$$P_{so} = \left(\frac{f_{so}}{S_o} \right) \cdot A \quad \dots\dots\dots (4)$$

P_{so}	：訓練空域外での対象施設への航空機落下確率	(回／(炉・年))
f_{so}	：単位年当たりの訓練空域外落下事故率	(回／年)
S_o	：全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積	(km ²)
A	：対象施設の標的面積	(km ² ／炉)

原子力科学研究所の自衛隊機又は米軍機の訓練空域外を飛行中の航空機落下確率の算出に用いた各パラメータを表 5 に示す。

4.5 自衛隊機の基地－訓練空域間を往復時の航空機落下確率

自衛隊機の基地－訓練空域間を往復時の対象施設への航空機落下確率は、評価基準 ⑥に基づき(5)式で算出した。

$$P_{se} = \left(\frac{f_{se}}{S_{se}} \right) \cdot A \quad \dots\dots\dots (5)$$

P_{se}	：対象施設への航空機落下確率	(回／(炉・年))
f_{se}	：基地と訓練空域間を往復中の落下事故率	(回／年)
S_{se}	：想定飛行範囲の面積	(km ²)
A	：対象施設の標的面積	(km ² ／炉)

原子力科学研究所の自衛隊機の基地－訓練空域間を往復時の航空機落下確率の算出に用いた各パラメータを表 6 に示す。なお、想定飛行範囲の面積 S_{se} の算出方法については、付録 2 にまとめた。

5. 航空機落下確率の算出結果

4 章の計算手法を用いて算出した、原子力科学研究所の対象施設への航空機落下確率の算出結果及びそれらの総和を以下に示す。

5.1 計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における対象施設への航空機落下確率

計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における航空機落下確率の算出結果を表 7 に示す。原子力科学研究所において JRR-3 の 4.24×10^{-10} (回／(炉・年)) が最大となった。なお、航空機落下確率の算出に当たっては、離着陸時の事故における落下地点確率分布関数 $\Phi_{d,a}(r, \theta)$ について、周方向で正規分布を仮定した値を用いた。

5.2 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の対象施設への航空機落下確率

計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の航空機落下確率の算出結果を表 8 に示す。原子力科学研究所において放射性廃棄物処理場の 3.62×10^{-10} (回／(炉・年)) が最大となった。各施設の航空機落下確率は、評価対象航空路（航空路 R211 及び RNAV 経路 Y30）それぞれの航空機落下確率の総和を示す。

5.3 有視界飛行方式民間航空機の対象施設への航空機落下確率

有視界飛行方式民間航空機の航空機落下確率の算出結果を表 9 に示す。原子力科学研究所において放射性廃棄物処理場の 2.17×10^{-8} (回／(炉・年)) が最大となった。各施設の航空機落下確率は、評価対象航空機（大型固定翼機、小型固定翼機、大型回転翼機及び小型回転翼機）それぞれの航空機落下確率の総和を示す。

5.4 自衛隊機又は米軍機の訓練空域外を飛行中の対象施設への航空機落下確率

自衛隊機又は米軍機の訓練空域外を飛行中の航空機落下確率の算出結果を表 10 に示す。原子力科学研究所において放射性廃棄物処理場の 1.23×10^{-8} (回／(炉・年)) が最大となった。各施設の航空機落下確率は、自衛隊機及び米軍機それぞれの航空機落下確率の総和を示す。

5.5 自衛隊機の基地－訓練空域間を往復時の対象施設への航空機落下確率

自衛隊機の基地－訓練空域間を往復時の航空機落下確率の算出結果を表 11 に示す。原子力科学研究所において放射性廃棄物処理場の 2.20×10^{-8} (回／(炉・年)) が最大となった。

5.6 対象施設ごとの航空機落下確率の総和

対象施設ごとの航空機落下確率の総和を表 12～表 16 に示す。航空機落下確率の総和は放射性廃棄物処理場の 5.68×10^{-8} (回／(炉・年)) が最大となった。

この結果、すべての対象施設において判断基準である 10^{-7} (回／(炉・年)) を下回るた

め、航空機落下を「想定される外部人為事象」として設計上考慮する必要はないことを確認した。

6. 結論

許可基準規則¹⁾及び使用許可基準規則²⁾の適合性確認のために航空機落下確率の評価を行い、航空機落下を「想定される外部人為事象」として設計上考慮する必要があるか否かを判断した。評価の結果、原子力科学研究所の対象施設における航空機落下確率の総和は、最大となる放射性廃棄物処理場で 5.68×10^{-8} (回／(炉・年)) であり、判断基準である 10^{-7} (回／(炉・年)) を下回るため、航空機落下を「想定される外部人為事象」として設計上考慮する必要がないことを確認した。

また、航空機落下確率の評価を行う上で参考となる基本的考え方、参照すべき情報等を付録においてまとめた。今後航空機落下確率の評価を行う原子力事業者の一助となれば幸いである。

謝辞

航空機落下確率の評価に当たり、ご助言及びご協力頂いた原子力科学研究所の各原子炉施設、核燃料物質使用施設等の方々に感謝いたします。また、本報告書を執筆する上でご指導、ご鞭撻頂いた保安全管理部の方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) 原子力規制委員会, 試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則,
<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=425M60080000021>, (参照日: 2023 年 6 月 22 日) .
- 2) 原子力規制委員会, 使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則,
<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=425M60080000034>, (参照日: 2023 年 6 月 22 日) .
- 3) 原子力規制庁, 被規制者向け情報通知文書「航空機落下事故に関するデータ（平成 13～令和 2 年）における軍用機事故データ調査方法の改善及びそれに伴う当該データの増加」, NIN4-20230331-tc.
- 4) 原子力規制委員会, 試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈,
<https://www.nra.go.jp/data/000172364.pdf>, (参照日: 2023 年 6 月 22 日) .
- 5) 原子力規制委員会, 使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈,
<https://www.nra.go.jp/data/000145838.pdf>, (参照日: 2023 年 6 月 22 日) .
- 6) 経済産業省原子力安全・保安院, 実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）,
<https://www.nra.go.jp/data/000126300.pdf>, (参照日: 2023 年 6 月 22 日) .
- 7) 原子力規制庁, 航空機落下事故に関するデータ（平成 13～令和 2 年）, NTEN-2023-2001, 2023, 69p.
- 8) 国土交通省航空局, 暦年・年度別空港管理状況調書（H23～R2）,
https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000185.html, (参照日: 2023 年 6 月 22 日) .
- 9) 国土交通省国土地理院, 地理院地図（電子国土 Web）, <https://maps.gsi.go.jp/> (参照日: 2023 年 6 月 22 日) .
- 10) 国土交通省航空局, Aeronautical Information Publication Japan, AD 2 AERODROMES RJAA — NARITA INTL,
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/DomesticAIP.do>, (参照日: 2023 年 6 月 22 日) .
- 11) 国土交通省航空局, Aeronautical Information Publication Japan, ENR 6 EN-ROUTE CHART,
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/DomesticAIP.do>, (参照日: 2023 年 6 月 22 日) .
- 12) CAST/ICAO Common Taxonomy Team (CICTT), PHASE OF FLIGHT,
<https://www.intlaviationstandards.org/Documents/PhaseofFlightDefinitions.pdf>, (参照日: 2023 年 6 月 22 日) .
- 13) 北関東防衛局, 北関東防衛局広報第 85 号,
<https://www.mod.go.jp/rdb/n-kanto/kouhou/kouhousi85.html>, (参照日: 2023 年 6 月 22 日) .

- 14) 国土交通省航空局, Aeronautical Information Publication Japan, ENR 5.2 EXERCISE AND TRAINING AREAS AND AIR DEFENCE IDENTIFICATION ZONE,
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/DomesticAIP.do>, (参照日:2023年6月22日).
- 15) 神奈川県大和市, 大和市と厚木基地,
https://www.city.yamato.lg.jp/gyosei/soshik/28/shikankobutsu_koho/4575.html, (参照日:2023年6月22日).
- 16) 国土交通省航空局, Aeronautical Information Publication Japan, GEN 2.2 ABBREVIATIONS USED IN AIS PUBLICATIONS,
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/DomesticAIP.do>, (参照日:2023年6月22日).
- 17) 園山耕司, よくわかる航空管制, 秀和システム, 2010, p.97.
- 18) 角田千早, みえる飛行方式設定基準, 鳳文書林出版販売, 2017, p.34.
- 19) 角田千早, みえる飛行方式設定基準, 鳳文書林出版販売, 2017, p.184.
- 20) 園山耕司, よくわかる航空管制, 秀和システム, 2010, p.119.
- 21) 国土交通省航空局, 飛行方式設定基準 (追録番号第12号), 第Ⅲ部第1編第1章 p.Ⅲ-1-1-1.
- 22) 角田千早, みえる飛行方式設定基準, 鳳文書林出版販売, 2017, p.32.
- 23) 園山耕司, よくわかる航空管制, 秀和システム, 2010, p.373.
- 24) 園山耕司, よくわかる航空管制, 秀和システム, 2010, p.375.
- 25) 角田千早, みえる飛行方式設定基準, 鳳文書林出版販売, 2017, p.12.
- 26) 国土交通省航空局, Aeronautical Information Publication Japan, AD 2 AERODROMES RJAHH — HYAKURI,
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/DomesticAIP.do>, (参照日:2023年6月22日).
- 27) 国土交通省航空局, Aeronautical Information Publication Japan, ENR 5.3 OTHER ACTIVITIES OF A DANGEROUS NATURE AND OTHER POTENTIAL HAZARDS,
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/DomesticAIP.do>, (参照日:2023年6月22日).
- 28) 国土交通省国土地理院, 測量計算サイト,
<https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/main.html>, (参照日:2023年6月22日).
- 29) 国土交通省航空局, Aeronautical Information Publication Japan, AD 2 AERODROMES RJTA — ATSUGI,
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/DomesticAIP.do>, (参照日:2023年6月22日).
- 30) 国土交通省航空局, Aeronautical Information Publication Japan, AD 2 AERODROMES RJTJ — IRUMA,
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/DomesticAIP.do>, (参照日:2023年6月22日).
- 31) 国土交通省航空局, Aeronautical Information Publication Japan, AD 2 AERODROMES RJTY — YOKOTA,
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/DomesticAIP.do>, (参照日:2023年6月22日).

- 32) 国土交通省航空局, Aeronautical Information Publication Japan, ENR 5.1 PROHIBITED, RESTRICTED AND DANGER AREAS,
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/DomesticAIP.do>, (参照日:2023年6月22日).
- 33) 角田千早, みえる飛行方式設定基準, 鳳文書林出版販売, 2017, p.30.
- 34) 国土交通省航空局, Aeronautical Information Publication Japan, ENR 3.1 LOWER ATS ROUTES,
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/DomesticAIP.do>, (参照日:2023年6月22日).
- 35) 国土交通省航空局, Aeronautical Information Publication Japan, ENR 3.3 RNAV ROUTES,
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/DomesticAIP.do>, (参照日:2023年6月22日).
- 36) 国土交通省航空局, Aeronautical Information Publication Japan, ENR 3.5 OTHER ROUTES,
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/DomesticAIP.do>, (参照日:2023年6月22日).
- 37) 国土交通省航空局, Aeronautical Information Publication Japan, ENR 4.1 RADIO NAVIGATION AIDS - EN-ROUTE,
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/DomesticAIP.do>, (参照日:2023年6月22日).
- 38) 国土交通省航空局, Aeronautical Information Publication Japan, ENR 4.3 NAME - CODE DESIGNATORS FOR SIGNIFICANT POINTS,
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/DomesticAIP.do>, (参照日:2023年6月22日).
- 39) 国土交通省航空局, 航空路等暫定設定基準 (追録番号第2号), 第4章第1節 pp.7-8.
- 40) 原子力安全基盤機構, 航空機落下事故に関するデータの整備, JNES-RE-2013-9011, 2013, 79p.
- 41) 角田千早, みえる飛行方式設定基準, 鳳文書林出版販売, 2017, pp.46-47.
- 42) 国土交通省航空局, 飛行方式設定基準 (追録番号第12号), 第I部第2編第1章 p. I -2-1-2.

用語集 (1/3)

用語	用語の解説
AD	飛行場 (Aerodrome) ¹⁶⁾
ARP	飛行場標点 (Aerodrome Reference Point) ¹⁶⁾
BRG	方位 (Bearing) ¹⁶⁾
DME	距離測定装置 (Distance Measuring Equipment)。航空機から地上局までの距離を測定する装置で、UHF (Ultra High Frequency (極超短波)) の周波数帯を使用し、通常 VOR 局と一緒に設置して VOR/DME 局として作動している ¹⁷⁾ 。
Fix	フィックス。無線施設や緯度・経度などにより定められる地理上の点 ¹⁸⁾ 。
GNSS	全地球的航法衛星システム (Global Navigation Satellite System)
IAF	初期進入フィックス (Initial Approach Fix)
ILS	計器着陸装置 (Instrument Landing System)。滑走路中心線への誘導コースを示す LOC (localizer: ローカライザー) 及び通常 3°となる降下パスを示す GS (glide slope: グライドスロープ) に加えて、航空機に最終進入コース上の位置を知らせるためのマーカービーコンがある。ローカライザーのアンテナは滑走路の延長線上にあり、発射する方位信号は滑走路中心線からの角度のずれを与える。グライドスロープのアンテナは滑走路の横にあり、進入角度を示す電波を発射する。マーカーは、滑走路に近いところから順にインナーマーカー、ミドルマーカー、アウターマーカーと設置されるが、通常はインナーマーカーは省略される。このうち、アウターマーカー及びミドルマーカーに代わって ILS に併設される DME によってこれらの位置 (マーカーが示すべき地点) が示されることがある ^{19), 20)} 。
INS	慣性航法装置 (Inertial Navigation System)
IRS	慣性基準装置 (Inertial Reference System)
RNAV5	航法仕様の 1 つであり、RNAV5 は洋上空域を除くエンルート RNAV 運航に適用される ²¹⁾ 。

用語集 (2/3)

用語	用語の解説
RNAV 仕様	機上性能監視警報機能に係る要件を含まない航法仕様をいう ²¹⁾ 。RNAV5 や RNAV1 のように「RNAV」の接頭辞が付されている。また、RNAV1 等、RNAV の接頭辞に続けて表記されている数字は航法精度を示しており、全飛行時間中少なくとも 95%は航法精度を示す数値 (NM) の範囲にあることが求められており、例えば、航法仕様 RNAV1 の場合には、全飛行時間中少なくとも 95%は、±1NM の範囲になければならない。なお、航法仕様を示される航法精度の値が小さいほど航法精度の高い航法仕様になるが、航空法により定められる特別な方式による航行に位置づけられる RNAV 航行の実施は航法仕様ごとに定められており、各航法仕様には航法の精度に加えて付随する航空機及び乗務員の一連の要件が定められているため、より高い航法精度が指定されているからと言ってそれよりも低い航法精度が指定された RNAV 航行が無条件に航行できるわけではない ²²⁾ 。
RNP 仕様	機上性能監視警報機能に係る要件を含む航法仕様をいう ²¹⁾ 。
TACAN	タカン (Tactical Air Navigation)。UHF の周波数帯を利用して航空機に連続した方位と距離情報を送ることができる航行援助無線施設及び機上装置。米海軍により開発され、主として軍用機に使用される。機上の DME 受信機によってタカンの距離測定装置を利用することができる ^{17), 23)} 。
THR	末端、進入端 (Threshold) ¹⁶⁾
VOR	超短波全方向式無線標識 (VHF (Very High Frequency) Omnidirectional radio range)。方位が分かる電気信号 (電波) を発し、航空機がこれを受信すると VOR 局からの方位 (磁方位) が分かる ^{17), 24)} 。通常 DME と併設され、DME から距離情報を得ることで VOR/DME 局からの方位及び距離が分かる。

用語集 (3/3)

用語	用語の解説
VORTAC	VOR と TACAN を併設した航行援助無線標識。DME 搭載機は TACAN の距離情報を得ることができる ²⁴⁾ が、民間航空機に搭載される VOR 受信機は TACAN から方位情報を得られないため、VOR より方位情報を得る。
Way point	ウェイポイント。RNAV ルートまたは RNAV による航空機の飛行パスを定めるために使用する地理上の点であり、緯度・経度により定められる。RNAV による航法において設定されるウェイポイントのうち、IF (中間進入フィックス (Intermediate Approach Fix)) や FAF (最終進入フィックス (Final Approach Fix)) 等のウェイポイントをフィックスと呼ぶなど、Fix と Way point は画一的な区別がされていない場合がある ¹⁸⁾ 。
航空路等暫定設定基準	現在の飛行方式設定基準が施行される以前の基準 (「計器飛行による進入方式・出発方式及び最低気象条件の設定基準」及び「航空路等設定基準」) の 1 つ。飛行方式設定基準制定後も暫定基準として運用されている。これは飛行方式設定基準の制定後もそれ以前からある飛行方式や航空路などは暫定基準に基づいて設定されているためであり、現時点 (令和 5 年 5 月 ^(注 1)) でも暫定基準により設定されていた方式、航空路等が引き続き用いられている ²⁵⁾ 。したがって、VOR 又は TACAN を構成無線施設とする航空路については引き続き暫定基準が適用されている。 (注 1) 国土交通省航空局への問い合わせにより確認した。
磁方位	AIP において、磁方位を表す場合は「R (又は R・)」 (例: R105) などと表記されるほか、凡例に「MAG」などと表記される。
真方位	AIP において、真方位を表す場合は凡例に「TRUE」などと表記されるほか、「XXX° T」 (例: 208°05' T) などと表記される。
ノミナルトラック	設計上 (理論上) の飛行経路 ¹⁸⁾ 。
飛行方式設定基準	航空法施行規則第 189 条第 2 項に基づき、計器飛行方式 (IFR) による進入の方式その他 SID などの当該空港に定められた飛行の方式、IFR により着陸しようとする航空機が着陸のための進入継続の可否を判断するための最低の気象条件及び進入限界高度以下への降下に必要となる目視物標を、国が定めた基準。平成 18 年 7 月 7 日に施行された ²⁵⁾ 。

表 1 事故分類に対する評価の要否整理表

(1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故		(2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故	(3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故		
① 飛行場での離着陸時における落下事故	② 航空路を巡航中の落下事故		① 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故		② 基地－訓練空域間を往復時の落下事故
			訓練空域内で訓練中の落下事故	訓練空域外を飛行中の落下事故	
○	○	○	×	○	○

凡例 ○：評価の必要な事故分類 ×：評価の不要な事故分類

表 2 計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における航空機落下確率
算出に用いたパラメータ

パラメータ	数値	単位
$f_{d,a}$	5.27×10^{-8}	回／離着陸回
$D_{d,a}$	2 ⁷⁾	回
$E_{d,a}$	37,956,682 ⁷⁾	離着陸回
$N_{d,a}$	6,420 ^{8), a)}	離着陸回／年
A ^{b)} : JRR-3 ^{c)}	4.24×10^{-3}	km ² ／炉
: NSRR ^{d)}	6.64×10^{-4}	km ² ／炉
: STACY ^{e)}	2.47×10^{-3}	km ² ／炉
: 放射性廃棄物処理場 ^{f)}	3.99×10^{-3}	km ² ／炉
: 核燃料物質使用施設等 ^{g)}	3.99×10^{-3}	km ² ／炉
$\Phi_{d,a}(r, \theta)$: 正規分布	2.96×10^{-4}	1／km ²
: 一様分布	1.55×10^{-4}	1／km ²
r_0	55.56	km
x	5.83	km
r_p	33.32	km

- a) 暦年・年度別空港管理状況調書（平成 23 年～令和 2 年）⁸⁾における着陸回数（令和元年：3,210 回）を 2 倍した値とした。本パラメータ設定の考え方は付録 3 を参照のこと。
- b) 標的面積は対象施設の現実的な標的面積を用いることとし、評価基準⁶⁾に基づき、離着陸時の航空機の落下に対しては突入角度を考慮して対象施設の投影面積を用いた。
- c) JRR-3 の原子炉建家、使用済燃料貯槽室、燃料管理施設、原子炉制御棟を包含する外殻の投影面積を用いた。
- d) NSRR の原子炉建家、燃料棟燃料貯蔵庫、制御室における投影面積の合計値を用いた。
- e) NUCEF 実験棟 A における投影面積を用いた。
- f) 放射性廃棄物処理場を構成する施設のうち、標的面積が最大となる「保管廃棄施設・L」を標的として計算した。なお、保管廃棄施設・L は地下ピット式であるため、水平面積を用いた。
- g) 原子力科学研究所の核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令第 41 条該当施設に対して航空機落下確率の評価を行った結果、航空機落下確率の総和が最も厳しくなった放射性廃棄物処理場の数値を記載した。表 3～表 6 も同様に放射性廃棄物処理場の数値を記載した。

表 3 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の航空機落下確率算出に用いたパラメータ

パラメータ	数値	単位
f_c	4.23×10^{-11}	回／（飛行回・km）
G_c	0.5 ^{7), a)}	回
H_c	11,814,093,990 ⁷⁾	飛行回・km
N_c ^{b)} : 航空路 R211 (GLAXY-SWAMP)	1,095	飛行回／年
: RNAV 経路 Y30 (GURIP-SWAMP)	38,325	飛行回／年
A ^{c)} : JRR-3 ^{d)}	3.80×10^{-3}	km ² ／炉
: NSRR ^{e)}	4.73×10^{-4}	km ² ／炉
: STACY ^{f)}	2.25×10^{-3}	km ² ／炉
: 放射性廃棄物処理場 ^{g)}	3.99×10^{-3}	km ² ／炉
: 核燃料物質使用施設等	3.99×10^{-3}	km ² ／炉
W : 航空路 R211	14.816	km
: RNAV 経路 Y30	18.52	km

a) 平成 13 年～令和 2 年の巡航中における落下事故件数は 0 回であるため、落下事故件数を保守的に 0.5 回とした。

b) 国土交通省航空局への問い合わせ結果(令和元年下期のピークデイ値)を 365 倍した。航空路の選定等に係る考え方は付録 3 を参照のこと。

c) 標的面積は対象施設の現実的な標的面積を用いることとし、評価基準 ⁶⁾に基づき、巡航中の航空機の落下に対しては上空からの落下を想定して対象施設の水平断面積を用いた。

d) JRR-3 の原子炉建家、使用済燃料貯槽室、燃料管理施設、原子炉制御棟を包含する外殻の水平断面積を用いた。表 4～表 6 も同様の数値とした。

e) NSRR の原子炉建家、燃料棟燃料貯蔵庫、制御室における水平断面積の合計値を用いた。表 4～表 6 も同様の数値とした。

f) NUCEF 実験棟 A における水平断面積を用いた。表 4～表 6 も同様の数値とした。

g) 放射性廃棄物処理場を構成する施設のうち、標的面積が最大となる「保管廃棄施設・L」の水平面積を用いて計算した。表 4～表 6 も同様の数値とした。

表 4 有視界飛行方式民間航空機の航空機落下確率算出に用いたパラメータ

パラメータ	数値	単位
f_v : 大型固定翼機	0.025 ^{7), a)}	回／年
: 小型固定翼機	1.1 ^{7), b)}	回／年
: 大型回転翼機	0.05 ^{7), b)}	回／年
: 小型回転翼機	0.85 ^{7), b)}	回／年
S_v	372,973 ⁷⁾	km ²
A ^{c)} : JRR-3	3.80×10^{-3}	km ² ／炉
: NSRR	4.73×10^{-4}	km ² ／炉
: STACY	2.25×10^{-3}	km ² ／炉
: 放射性廃棄物処理場	3.99×10^{-3}	km ² ／炉
: 核燃料物質使用施設等	3.99×10^{-3}	km ² ／炉
α : 大型固定翼機、大型回転翼機	1 ⁶⁾	—
: 小型固定翼機、小型回転翼機	1 ^{d)}	—

a) 平成 13 年～令和 2 年（20 年間）の落下事故件数を 20 で除した。なお、平成 13 年～令和 2 年の大型固定翼機の落下事故件数は 0 回であるため、落下事故件数を保守的に 0.5 回とした。

b) 平成 13 年～令和 2 年（20 年間）の落下事故件数を 20 で除した。

c) 標的面積は対象施設の現実的な標的面積を用いることとし、評価基準 ⁶⁾に基づき、巡航中の航空機の落下に対しては上空からの落下を想定して対象施設の水平断面積を用いた。

d) 評価基準 ⁶⁾に基づき、大型固定翼機及び大型回転翼機の係数は 1 を用いるが、小型固定翼機及び小型回転翼機については、対象施設が発電用原子炉に比べ堅固な建家ではないため、0.1 ではなく 1 を用いた。

表 5 自衛隊機又は米軍機の訓練空域外を飛行中の航空機落下確率算出に用いたパラメータ

パラメータ		数値	単位
f_{so}	: 自衛隊機	0.75 ^{7), a)}	回／年
	: 米軍機	0.2 ^{7), a)}	回／年
S_o	: 自衛隊機	294,779 ⁷⁾	km ²
	: 米軍機	372,464 ⁷⁾	km ²
A ^{b)}	: JRR-3	3.80×10^{-3}	km ² ／炉
	: NSRR	4.73×10^{-4}	km ² ／炉
	: STACY	2.25×10^{-3}	km ² ／炉
	: 放射性廃棄物処理場	3.99×10^{-3}	km ² ／炉
	: 核燃料物質使用施設等	3.99×10^{-3}	km ² ／炉

a) 平成 13 年～令和 2 年（20 年間）の落下事故件数を 20 で除した。

b) 標的面積は対象施設の現実的な標的面積を用いることとし、評価基準 ⁶⁾に基づき、巡航中の航空機の落下に対しては上空からの落下を想定して対象施設の水平断面積を用いた。

表 6 自衛隊機の基地－訓練空域間を往復時の航空機落下確率算出に用いたパラメータ

パラメータ		数値	単位
f_{se}		0.025 ^{7), a)}	回／年
S_{se}		4,540	km ²
A ^{b)}	: JRR-3	3.80×10^{-3}	km ² ／炉
	: NSRR	4.73×10^{-4}	km ² ／炉
	: STACY	2.25×10^{-3}	km ² ／炉
	: 放射性廃棄物処理場	3.99×10^{-3}	km ² ／炉
	: 核燃料物質使用施設等	3.99×10^{-3}	km ² ／炉

- a) 平成 13 年～令和 2 年（20 年間）の落下事故件数を 20 で除した。なお、平成 13 年～令和 2 年に百里基地－自衛隊訓練空域間の想定飛行範囲内における自衛隊機の往復時の落下事故は発生していないため、落下事故件数を保守的に 0.5 回とした。
- b) 標的面積は対象施設の現実的な標的面積を用いることとした。評価基準⁶⁾に基づき、自衛隊機及び米軍機の離着陸時の事故を基地－訓練空域間を往復中の事故（すなわち、巡航中の事故）として取り扱うことから、標的面積は対象施設の水平断面積を用いた。

表 7 計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における航空機落下確率の算出結果

対象施設	航空機落下確率 $P_{d,a}$ (回／(炉・年))
JRR-3	4.24×10^{-10}
NSRR	6.64×10^{-11}
STACY	2.47×10^{-10}
放射性廃棄物処理場	3.99×10^{-10}
核燃料物質使用施設等 ^{a)}	3.99×10^{-10}

a) 原子力科学研究所の核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令第 41 条該当施設に対して航空機落下確率の評価を行った結果、航空機落下確率の総和が最も厳しくなった放射性廃棄物処理場の算出結果を記載した。表 8～表 11 も同様に放射性廃棄物処理場の算出結果を記載した。

表 8 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の航空機落下確率の算出結果

対象施設	航空機落下確率 P_c (回／(炉・年))
JRR-3	3.45×10^{-10}
NSRR	4.29×10^{-11}
STACY	2.04×10^{-10}
放射性廃棄物処理場	3.62×10^{-10}
核燃料物質使用施設等	3.62×10^{-10}

表 9 有視界飛行方式民間航空機の航空機落下確率の算出結果

対象施設	航空機落下確率 P_v (回／ (炉・年))
JRR-3	2.06×10^{-8}
NSRR	2.57×10^{-9}
STACY	1.22×10^{-8}
放射性廃棄物処理場	2.17×10^{-8}
核燃料物質使用施設等	2.17×10^{-8}

表 10 自衛隊機又は米軍機の訓練空域外を飛行中の航空機落下確率の算出結果

対象施設	航空機落下確率 P_{so} (回／ (炉・年))
JRR-3	1.17×10^{-8}
NSRR	1.46×10^{-9}
STACY	6.93×10^{-9}
放射性廃棄物処理場	1.23×10^{-8}
核燃料物質使用施設等	1.23×10^{-8}

表 11 自衛隊機の基地－訓練空域間を往復時の航空機落下確率の算出結果

対象施設	航空機落下確率 P_{se} (回／ (炉・年))
JRR-3	2.09×10^{-8}
NSRR	2.60×10^{-9}
STACY	1.24×10^{-8}
放射性廃棄物処理場	2.20×10^{-8}
核燃料物質使用施設等	2.20×10^{-8}

表 12 航空機落下確率の評価結果 (JRR-3)

事故分類		航空機落下確率 (回／ (炉・年))	
(1) 計器飛行方式民間 航空機の落下事故	① 飛行場での離着陸時に おける落下事故	$P_{d,a}$	4.24×10^{-10}
	② 航空路を巡航中の落下 事故	P_c	3.45×10^{-10}
(2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故		P_v	2.06×10^{-8}
(3) 自衛隊機又は米軍 機の落下事故	① 訓練空域外を飛行中の 落下事故	P_{so}	1.17×10^{-8}
	② 基地－訓練空域間を往 復時の落下事故	P_{se}	2.09×10^{-8}
合計 ($P_{d,a} + P_c + P_v + P_{so} + P_{se}$)			5.40×10^{-8}

表 13 航空機落下確率の評価結果 (NSRR)

事故分類		航空機落下確率 (回／ (炉・年))	
(1) 計器飛行方式民間 航空機の落下事故	① 飛行場での離着陸時に おける落下事故	$P_{d,a}$	6.64×10^{-11}
	② 航空路を巡航中の落下 事故	P_c	4.29×10^{-11}
(2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故		P_v	2.57×10^{-9}
(3) 自衛隊機又は米軍 機の落下事故	① 訓練空域外を飛行中の 落下事故	P_{so}	1.46×10^{-9}
	② 基地－訓練空域間を往 復時の落下事故	P_{se}	2.60×10^{-9}
合計 ($P_{d,a} + P_c + P_v + P_{so} + P_{se}$)			6.74×10^{-9}

表 14 航空機落下確率の評価結果 (STACY)

事故分類		航空機落下確率 (回／ (炉・年))	
(1) 計器飛行方式民間 航空機の落下事故	① 飛行場での離着陸時に おける落下事故	$P_{d,a}$	2.47×10^{-10}
	② 航空路を巡航中の落下 事故	P_c	2.04×10^{-10}
(2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故		P_v	1.22×10^{-8}
(3) 自衛隊機又は米軍 機の落下事故	① 訓練空域外を飛行中の 落下事故	P_{so}	6.93×10^{-9}
	② 基地－訓練空域間を往 復時の落下事故	P_{se}	1.24×10^{-8}
合計 ($P_{d,a} + P_c + P_v + P_{so} + P_{se}$)			3.20×10^{-8}

表 15 航空機落下確率の評価結果 (放射性廃棄物処理場)

事故分類		航空機落下確率 (回／ (炉・年))	
(1) 計器飛行方式民間 航空機の落下事故	① 飛行場での離着陸時に おける落下事故	$P_{d,a}$	3.99×10^{-10}
	② 航空路を巡航中の落下 事故	P_c	3.62×10^{-10}
(2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故		P_v	2.17×10^{-8}
(3) 自衛隊機又は米軍 機の落下事故	① 訓練空域外を飛行中の 落下事故	P_{so}	1.23×10^{-8}
	② 基地－訓練空域間を往 復時の落下事故	P_{se}	2.20×10^{-8}
合計 ($P_{d,a} + P_c + P_v + P_{so} + P_{se}$)			5.68×10^{-8}

表 16 航空機落下確率の評価結果（核燃料物質使用施設等） a)

事故分類		航空機落下確率 (回／ (炉・年))	
(1) 計器飛行方式民間 航空機の落下事故	① 飛行場での離着陸時に おける落下事故	$P_{d,a}$	3.99×10^{-10}
	② 航空路を巡航中の落下 事故	P_c	3.62×10^{-10}
(2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故		P_v	2.17×10^{-8}
(3) 自衛隊機又は米軍 機の落下事故	① 訓練空域外を飛行中の 落下事故	P_{so}	1.23×10^{-8}
	② 基地－訓練空域間を往 復時の落下事故	P_{se}	2.20×10^{-8}
合計 ($P_{d,a} + P_c + P_v + P_{so} + P_{se}$)			5.68×10^{-8}

a) 原子力科学研究所の核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令第 41 条該当施設に対して航空機落下確率の評価を行った結果、航空機落下確率の総和が最も厳しくなった放射性廃棄物処理場の評価結果を記載した。

– 33 –

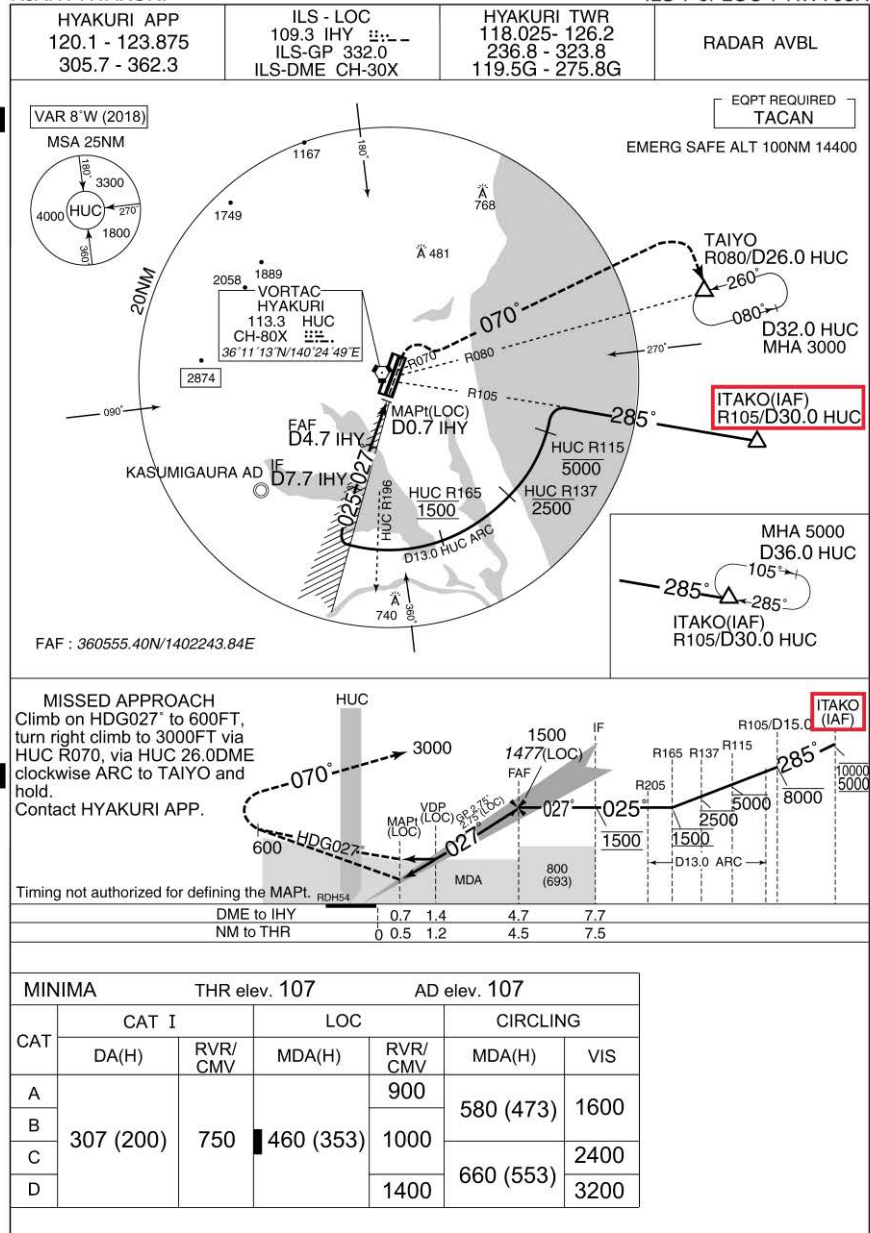
RJAH AD2.24-IAC-2

AIP Japan
HYAKURI

INSTRUMENT APPROACH CHART

RJAH / HYAKURI

ILS Y or LOC Y RWY03R



Civil Aviation Bureau, Japan (EFF:24 MAY 2018)

26/4/18

図 2 茨城空港アプローチチャート（参照箇所の明確化のため、著者にて一部加筆） 26)

〈評価上必要な数値等の読み取り方〉

評価に際して、AIP 中の「AD 2 AERODROMES」にて各空港のアプローチチャート等の情報を見ることができる。原子力科学研究所の場合は、「RJAHH — HYAKURI」にて茨城空港（百里基地）の情報を参照する。図 2 中の「ITAKO(IAF) R105/D30.0 HUC」の意味として、「IAF（Initial Approach Fix）の ITAKO は、HYAKURI VORTAC (HUC)から磁方位 105°方向かつ 30.0NM の位置にある。」と解釈する。

なお、茨城空港（百里基地）を示す「RJAHH」は、各空港に付けられる 4 文字のコード（Location indicator）であり、HYAKURI VORTAC を示す「HUC」は各航行援助施設（VOR/DME、VORTAC 等）に付けられる 3 文字のコードである。また、「ITAKO」は Fix の名称であり、5 文字のコードがそれぞれの Fix に付けられている。

AIP 等を理解する上で必要になると考える情報を付録 3 にまとめたので、必要に応じて参照のこと。

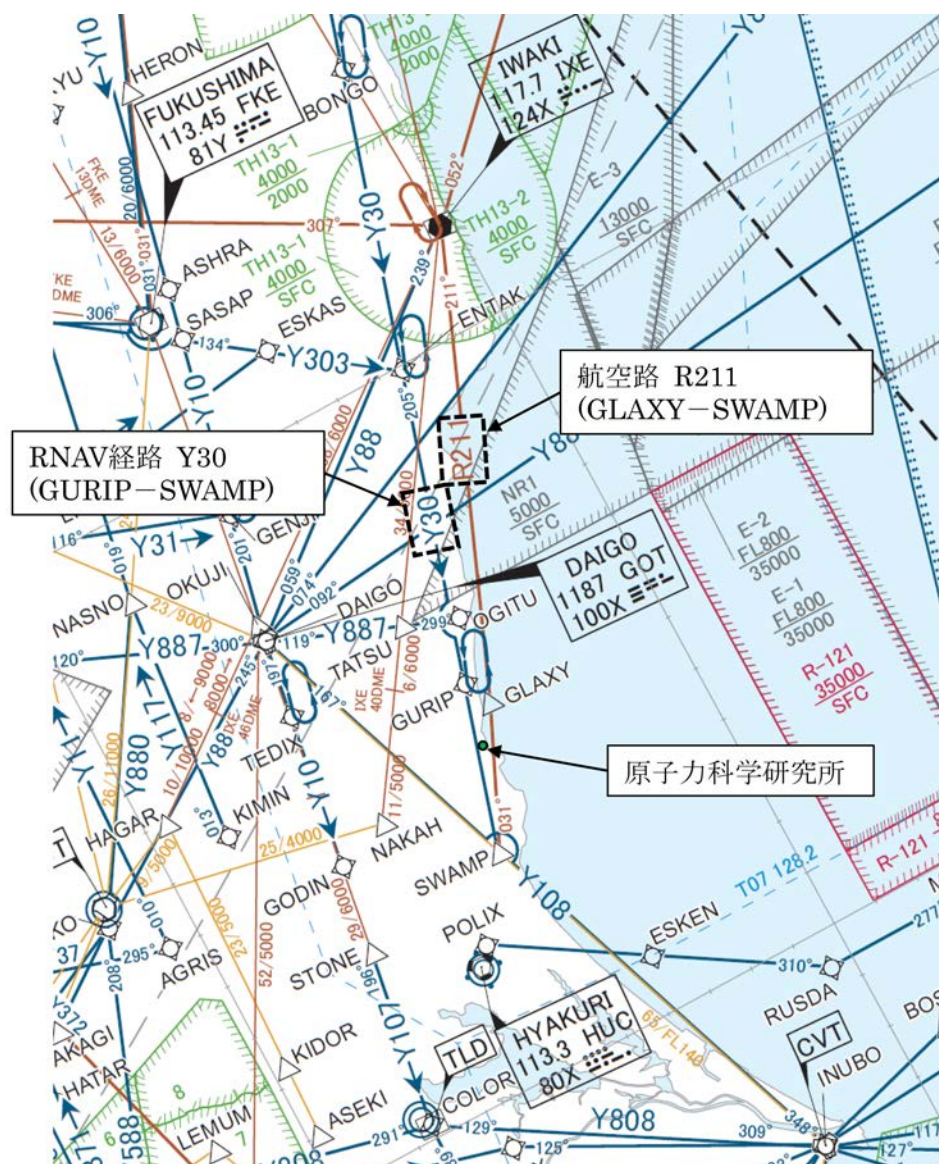


図 3 原子力科学研究所近傍の航空路（エンルートチャート¹¹⁾より抜粋し、著者にて一部加筆）

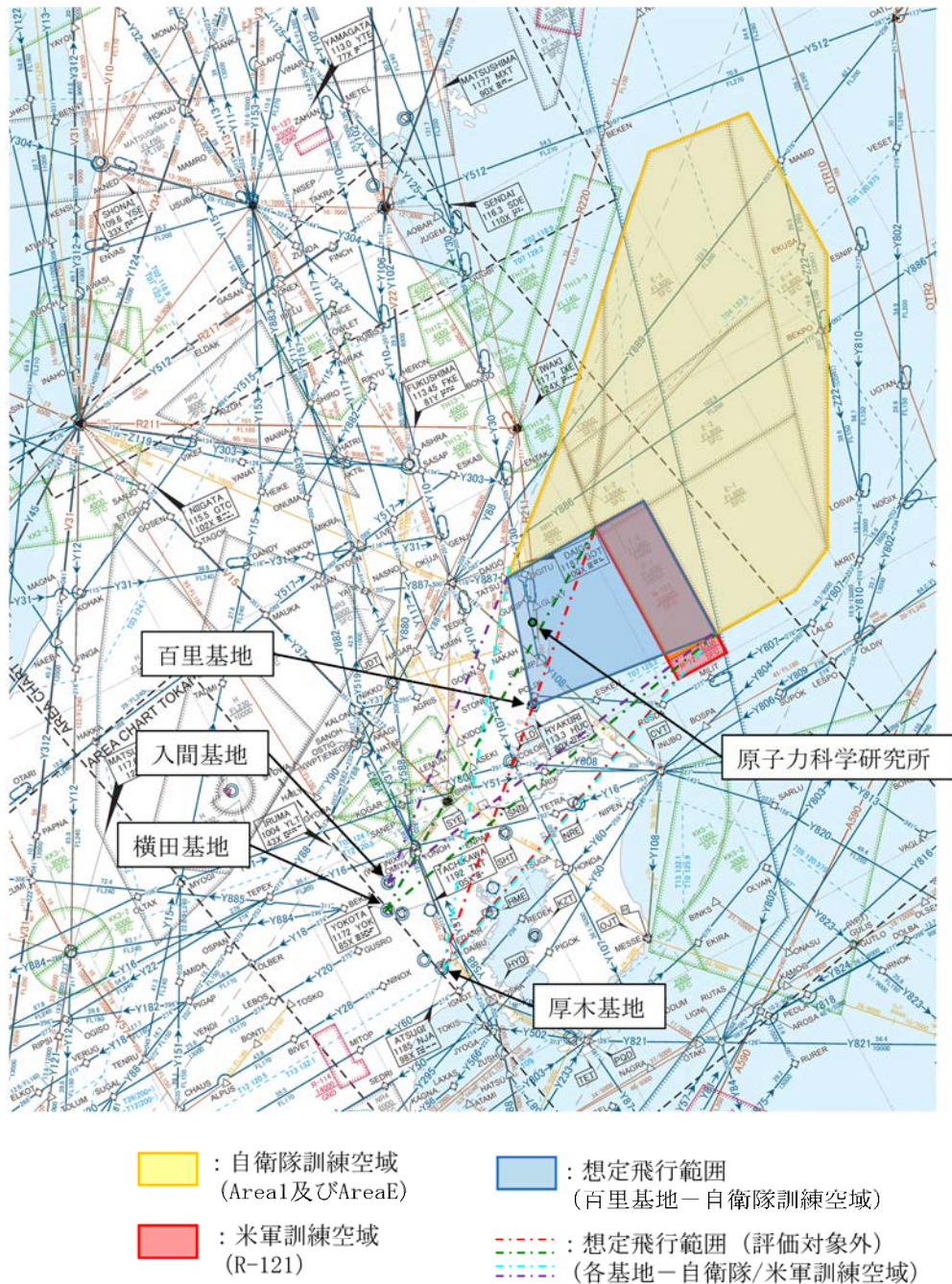


図4 原子力科学研究所近傍の訓練空域及び想定飛行範囲並びに主要な自衛隊基地及び米軍基地 (エンルートチャート¹⁾より抜粋し、著者にて一部加筆)

付録 1

離着陸時の事故における落下地点確率分布関数 $\Phi_{d,a}(r, \theta)$ の算出方法(1) 落下地点確率分布関数 $\Phi_{d,a}(r, \theta)$ 算出の基本的な考え方

落下地点確率分布関数 $\Phi_{d,a}(r, \theta)$ （以下単に「確率分布関数」という。）は、評価基準⑥に基づき算出するものとし、計算式は 4 章 4.1 節にて示したとおりである。算出に当たっては、原子力科学研究所固有のパラメータを要するため、各パラメータの設定に係る考え方を示す。原子力科学研究所と茨城空港の位置関係は図 app-1-1 のとおりである。ここで、茨城空港の滑走路延長線の真方位に対する角度を θ_1 、「茨城空港の滑走路延長線」と「滑走路端と JRR-3 を結んだ直線」のなす角を θ_2 とした。

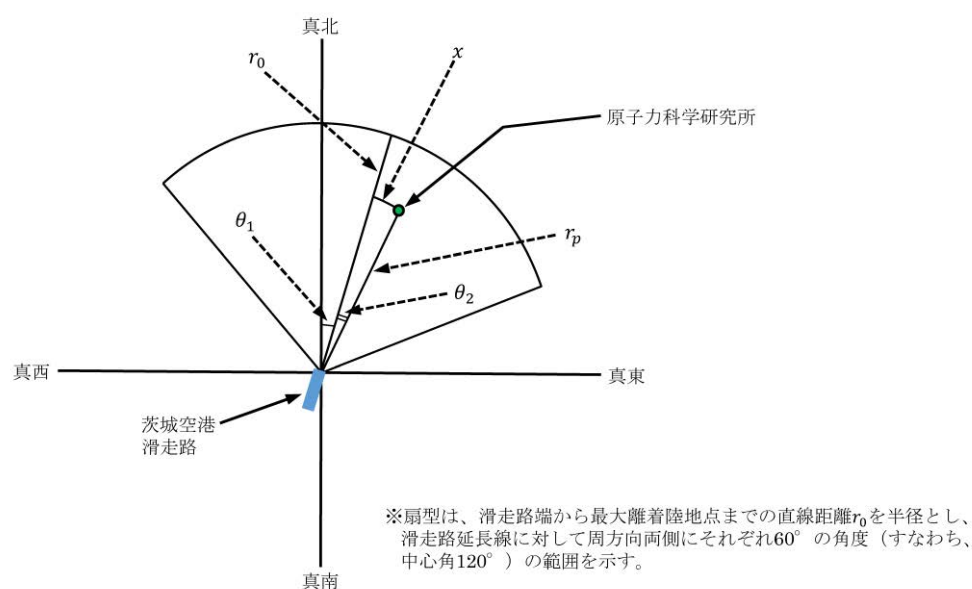


図 app-1-1 原子力科学研究所と茨城空港の位置関係

(2) 原子力科学研究所固有のパラメータの設定について

確率分布関数を算出するに当たって必要となる原子力科学研究所固有のパラメータは、以下のとおりである。各パラメータの設定及び算出の考え方を①及び②に示す。

r_0	：滑走路端から最大離着陸地点までの直線距離	(km)
x	：滑走路軸上から対象施設までの距離（周方向）	(km)
r_p	：滑走路端から対象施設までの距離（径方向）	(km)

① r_0 の設定

r_0 については、茨城空港のアプローチチャート²⁶⁾を確認し、「最大離着陸地点までの直線距離」である 30.0NM (=55.56km) を用いた。

② r_p 及び x の算出に対する考え方

r_p 及び x を算出するに当たって、滑走路端の位置（座標）を特定する必要があるため、AIP より引用した滑走路に係る情報等を表 app-1-1、表 app-1-2 及び図 app-1-2 に示す。

表 app-1-1 茨城空港の滑走路情報（一部抜粋）²⁶⁾

Designations RWY NR	TRUE BRG	THR coordinates THR geoid undulation
03L	019°	To be issued later
21R	199°	
03R	019°	To be issued later
21L	199°	

表 app-1-2 茨城空港の無線航法及び着陸施設情報（一部抜粋）²⁶⁾

Type of aid	ID	Position of transmitting antenna coordinates	Remarks
ILS-LOC 03R	IHY	361147N/1402520E	LOC : 475m away FM RWY 21L THR, BRG (MAG) 027°

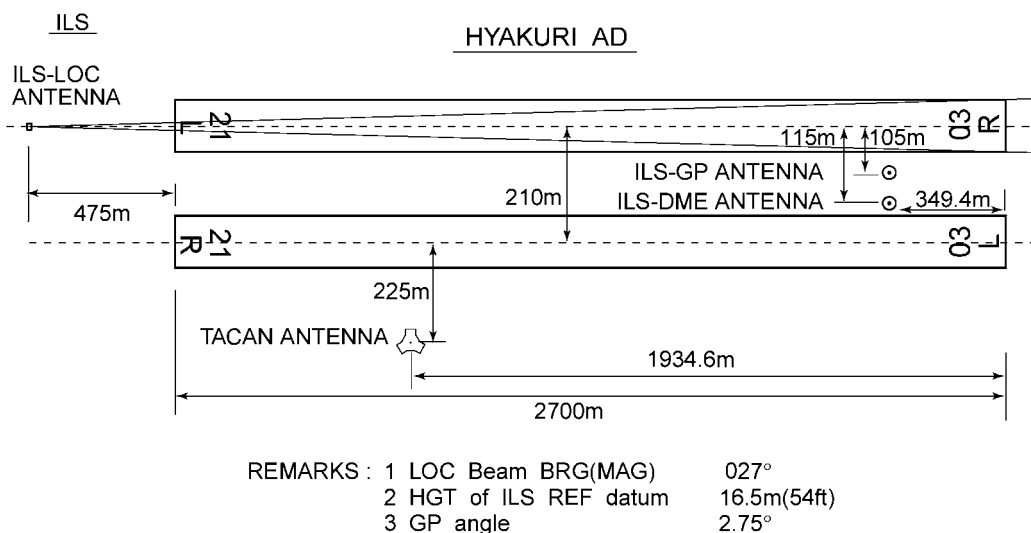


図 app-1-2 茨城空港の無線航法及び着陸施設の位置関係²⁶⁾

表 app-1-1 によると、滑走路端の座標（THR coordinates）は「To be issued later」と記載があり、座標が明確に判断できないため、表 app-1-1、表 app-1-2 及び図 app-1-2 を参照し、ローカライザー（ILS-LOC 03R）アンテナの座標から滑走路端の座標を求めることとした。地理院地図⁹⁾の作図機能によりローカライザー（ILS-LOC 03R）アンテナの座標「361147N/1402520E」をプロットし、滑走路方向（真方位 199°方向）へ 475m 移動した地点を計測機能により特定し、滑走路端の座標とした。作図及び測定の結果、「361132.43N/1402513.81E」を滑走路端の座標として用いることとした。また、今回の評価においては AIP にて公示されている JRR-3 の座標「362717N/1403603E」²⁷⁾を用いて r_p 及び x を求めた^{*3}。なお、原子力科学研究所の原子炉施設の中で JRR-3 が滑走路延長線に最も近いいため、JRR-3 の座標を用いて求めた r_p 及び x を原子力科学研究所として共通的に使用することとした。

r_p の算出方法として、上記に記載した滑走路端の座標「361132.43N/1402513.81E」から JRR-3 の座標「362717N/1403603E」を結んだ径方向の直線距離及び方位角を国土交通省国土地理院 測量計算サイト²⁸⁾を用いて測定した。その結果、径方向の直線距離 r_p は 33.32km であった。また、方位角（すなわち、 $\theta_1 + \theta_2$ ）は 29.03° であった。

x の算出方法として、上記の方位角 $\theta_1 + \theta_2$ の算出結果及び茨城空港の滑走路の角度（すなわち、 θ_1 ）が真方位 19° であることより、 θ_2 は 10.03° となることが分かり、 θ_2 の単位を

*3 AIP にて公示されている JRR-3 の座標「362717N/1403603E」と地理院地図⁹⁾における JRR-3 の見かけ上の位置がほぼ一致（その差はおおよそ 30m 以内であり、座標の端数処理によるずれであると考えられる。）していることを確認した。本評価は可能な限り地理院地図の見かけ上の位置ではなく、AIP にて公示されている情報を用いて行うこととしたため、JRR-3 の座標は「362717N/1403603E」を用いた。原子力科学研究所の各施設の座標は付録 2 を参照のこと。

ラジアンに変換し、 $x = r_p \theta_2$ にて周方向の距離を求めた。計算した結果、 x は 5.83km となった。

上記①及び②による方法で求めた r_0 、 r_p 及び x を用いると、離着陸時の事故における落下地点確率分布関数 $\Phi_{d,a}(r, \theta)$ は、正規分布で 2.96×10^{-4} (1/km²)、一様分布で 1.55×10^{-4} (1/km²) となった。よって、航空機落下確率の算出に当たっては、より厳しい算出結果となる正規分布を仮定した確率分布関数を用いた。

付録 2

原子力科学研究所、基地等の座標、想定飛行範囲内に原子力科学研究所が
存在するか否かの判断及び想定飛行範囲の面積 S_{se} の算出方法

(1) 原子力科学研究所、基地等の座標

想定飛行範囲の確認に当たっては、AIP により原子力科学研究所内各施設の座標、各基地の座標及び訓練空域の座標を調査した。AIP より引用した座標を表 app-2-1～表 app-2-5 に示す。

表 app-2-1 原子力科学研究所における各施設の座標（AIP より抜粋し、著者にて一部加筆・翻訳）²⁷⁾

原子炉施設等の名称		炉心等の位置座標
国立研究開発法人	・ JRR-3	362717N/1403603E
日本原子力研究開発機構	・ NSRR	362738N/1403623E
原子力科学研究所	・ STACY	362708N/1403621E
	・ 放射性廃棄物処理場 ^{*4}	362717N/1403623E
	・ 核燃料物質使用施設等 ^{*5}	—

表 app-2-2 主要な自衛隊基地及び米軍基地の座標（AIP より抜粋し、著者にて一部加筆・翻訳）^{26), 29), 30), 31)}

基地の名称	ARP coordinates and site at AD
百里基地	361054N/1402453E
入間基地	355031N/1392438E
横田基地	354455N/1392055E
厚木基地	352717N/1392700E

*4 AIP に放射性廃棄物処理場の記載がないため、独自に代表座標を定めた。

*5 AIP に記載がなく、核燃料物質使用施設等は原子力科学研究所の敷地内の各所に点在しているため、代表座標は定めない。

表 app-2-3 自衛隊低高度訓練／試験空域の座標（AIP より抜粋し、著者にて一部
加筆・翻訳）¹⁴⁾

空域の名称	座標	高度(ft)
Area 1	The airspace bounded by lines connecting the following points. (1)364011N/1403548E (2)364011N/1410448E (3)370211N/1410848E	5000 —— SFC

表 app-2-4 自衛隊高高度訓練／試験空域の座標（AIP より抜粋し、著者にて一部
加筆・翻訳）¹⁴⁾ (1/2)

空域の名称		座標	高度(ft)
Area E	E-1	The airspace bounded by straight lines connecting the following points. (1) 360500N/1410448E (2) 360500N/1414604E (3) 360959N/1415952E (4) 364043N/1421046E (5) 363811N/1410448E "Excluding R-121."	FL800 ——
	E-2	The airspace bounded by straight lines connecting the following points. (5) 363811N/1410448E (4) 364043N/1421046E (6) 370649N/1422012E (7) 365946N/1412048E (8) 364406N/1410527E (9) 364011N/1410448E "Excluding R-121."	SFC
		The airspace bounded by straight lines connecting the following points. (8) 364406N/1410527E (7) 365946N/1412048E (10) 365811N/1410748E	13000 —— SFC

表 app-2-4 自衛隊高高度訓練／試験空域の座標（AIP より抜粋し、著者にて一部
加筆・翻訳）¹⁴⁾ (2/2)

空域の名称		座標	高度(ft)
Area E	E-3	The airspace bounded by straight lines connecting the following points. (11) 365031N/1411143E (12) 370511N/1420647E (6) 370649N/1422012E (13) 374724N/1423506E (14) 374957N/1421038E (15) 374111N/1415747E (16) 372730N/1414000E (7) 365946N/1412048E	FL800 SFC
		The airspace bounded by straight lines connecting the following points. (17) 364911N/1410648E (11) 365031N/1411143E (7) 365946N/1412048E (16) 372730N/1414000E (18) 370311N/1410848E	13000 SFC
	E-4	The airspace bounded by straight lines connecting the following points. (3) 360959N/1415952E (19) 370923N/1424114E (20) 374646N/1424114E (13) 374724N/1423506E (6) 370649N/1422012E (4) 364043N/1421046E	FL800 SFC

表 app-2-5 制限空域（米空軍空対空射撃）の座標（AIP より抜粋し、著者にて一部
加筆・翻訳）³²⁾

空域の名称	座標		高度(ft)
R-121	364011N/1410448E	364011N/1412048E	(1)
CENTRAL	360012N/1412048E	360012N/1410448E	35000
HONSHU			—————
中部本州空戦			SFC
訓練区域			364011N/1410448E
			364011N/1412048E
			360500N/1412048E
			360500N/1410448E
			(2)
			8000
			—————
			SFC
			360500N/1410448E
			360500N/1412048E
			360012N/1412048E
			360012N/1410448E

(2) 想定飛行範囲内に対象施設が存在するか否かの判断

想定飛行範囲内に原子力科学研究所の対象施設が存在するか否かを判断するために、AIP より引用した表 app-2-1～表 app-2-5 の座標及び空域を地理院地図⁹⁾上に作図機能を用いてプロット等をするとともに、各基地の ARP から想定飛行範囲の直線を引くことで、簡便に判断を行うことができる。想定飛行範囲内に対象施設が存在するか否かの判定は、主要な基地がすべて原子力科学研究所の南側にあることを踏まえ、対象施設のうち最も南側に位置する STACY の判定に包含される。判定結果は 3 章に示したとおり、百里基地－自衛隊訓練空域間のみを評価対象として選定した。なお、自衛隊訓練空域 E-1 及び E-2 について、表 app-2-4 に示したとおり、「Excluding R-121」との記載があることから、制限空域 R-121 を除いている。

(3) 想定飛行範囲の面積 S_{se} の算出方法

想定飛行範囲の算出に当たって、AIP より引用した表 app-2-2～表 app-2-5 の座標及び空域を地理院地図⁹⁾上に作図機能を用いてプロット等を行い、計測機能を用いて計測を行った。想定飛行範囲の形状は図 4 に示したとおりである。計測した結果、4,540km²となった。

なお、自衛隊訓練空域 E-1 及び E-2 について、表 app-2-4 に示したとおり、「**Excluding R-121**」との記載があることから、制限空域 R-121 を自衛隊訓練空域から除いた上で想定飛行範囲を算出している。

付録 3

航空路、航空交通量等の調査方法

(1) 航空路の種類

航空路の選定に当たって、まずエンルートチャート¹⁾により対象施設近傍の航空路を確認する。エンルートチャートはAIP中の「ENR 6 EN-ROUTE CHART」にて参照することができるが、AIPを閲覧するホームページ上において言語は英語を選択しないと閲覧できない。

航空路の種類として、「航空路(Airway)」、「RNAV 経路(RNAV route)」、「直行経路(Direct route)」などがあり、それぞれ名称が付けられるとともに、エンルートチャートにおいてそれぞれの航空路は色分けされており、例えば航空路(Airway)は茶色の太線、RNAV 経路(RNAV route)は青色の太線、直行経路(Direct route)は茶色の線等で記載されている。その他、記号の凡例はエンルートチャート上部に記載されている。

航空路(Airway)及び直行経路(Direct route)については既存航法で航行を行い、VORからのラジアルにより設定される経路やILSの最終進入経路を飛行するなど航行援助施設の精度に大きく依存しており、各航行援助施設に応じた受信機を装備し、また、必要に応じてILSの高カテゴリー運航など求められる要件を満たすことで行われる航法であることからSensor Based Navigationと呼ばれる。一方、RNAV 経路(RNAV route)は広域航法(Area Navigation-RNAV)にて航行を行い、航空機は自機の位置をGNSS(GPS等の衛星及び補強システム)やDME/DME、INS or IRS等のセンサーにより緯度・経度で把握することでWay pointなどにより構成される任意の経路を航行する。RNAVは、原則として、進入や巡航のフェーズ、空港周辺のフェーズなど飛行フェーズごとに航空機が安全に航行するために必要となる航法の精度を、例えば出発方式であれば「全飛行時間中少なくとも95%は±1NMの範囲にあること」のように定め、その精度に応じて必要となるセンサーや航空機の要件、乗組員の訓練の要件などが規程される航法である。このように、特定の経路及び空域において必要とされる運航上の要件が規程される航法をPerformanced Based Navigation-PBN(性能準拠型航法)と呼ぶ³⁾。

(2) 航空路の調査方法

航空路は上記に記載したとおり、エンルートチャートにて確認できるため、対象施設の大まかな位置から近傍の航空路は推定できるが、エンルートチャートからは詳細な座標を読み取ることができない。したがって、AIP中の「ENR 3 ATS ROUTES」にて航空路を構成する航行援助施設やFix又はWay point(以下「Fix等」という。)の座標を確認し、対象施設との位置関係を特定する必要がある。

具体例として原子力科学研究所のJRR-3を挙げる。エンルートチャートより、JRR-3近傍の航空路は、航空路R211、RNAV 経路Y30、RNAV 経路Y108、直行経路IXE-NAKAH

及び直行経路 GOT-CVT が存在することが分かる*6。JRR-3 の AIP 記載座標は「362717N/1403603E」であり、この地点の上空に上記で示した航空路の「障害物間隔を勘案すべき区域」（以下単に「区域」という。）が存在するか否かを判断する。表 app-3-1～表 app-3-5 に AIP から抜粋した各航空路の情報を示す。

表 app-3-1 航空路 R211 の情報（一部抜粋）³⁴⁾

Route designator (RNP type) Name of significant points Coordinates	Track MAG (GEO) VOR RDL	DIST (NM)	Lateral limits (NM)
R211			
▲ IWAKI VOR/DME(IXE)			
370855.91N/1405832.47E △ GLAXY	211 ---- 031	41	(1) 8 (2) The airspace bounded by the following lines. (a) Lines extending on 198°05'T and 208°05'T FM IXE. (b) Lines extending on 113°05'T and 293°05'T FM SWAMP.
363059.70N/1403857.51E △ SWAMP		13	
361914.44N/1403217.02E			

*6 4 章 4.2 節にて示したとおり、評価対象航空路は航空路 R211 及び RNAV 経路 Y30 のみであるが、対象施設の上空に航空路の区域が存在するか否かの判断手順を示すため、評価対象外の航空路も含む。

表 app-3-2 RNAV 経路 Y30 の情報 (一部抜粋) ³⁵⁾

Route designator (Navigation specification) Name of significant points Coordinates [Available SENSOR]	MAG TRACK [TRUE TRACK]	Geodetic DIST
(RNAV5) [VOR/DME, DME/DME, INS or IRS, GNSS]		
ENTAK 365937N 1404742E	205 [197.1]	27.6
GURIP 363316N 1403736E	205 [197.0]	14.7
SWAMP 361914N 1403217E		

表 app-3-3 RNAV 経路 Y108 の情報 (一部抜粋) ³⁵⁾

Route designator (Navigation specification) Name of significant points Coordinates [Available SENSOR]	MAG TRACK [TRUE TRACK]	Geodetic DIST
(RNAV5) [VOR/DME, DME/DME, INS or IRS, GNSS]		
DAIGO 364440N 1402059E	167 [160.3]	64.9
INUBO 354335N 1404758E	348 [340.5]	
MESSE 351101N 1402215E	220 [212.9]	38.8

表 app-3-4 直行経路 IXE-NAKAH の情報（一部抜粋）³⁶⁾

1.27 IWAKI VOR/DME (IXE VOR/DME)					
IXE VOR/DME 222°	$\frac{34\text{nm}}{6000}$	TATSU	$\frac{6\text{nm}}{6000}$	IXE 40DME	$\frac{11\text{nm}}{5000}$ 042° NAKAH

※VOR/DME 及び Fix の座標

IXE VOR/DME : 370855.91N/1405832.47E ³⁷⁾

TATSU : 364021.74N/1403436.40E ³⁸⁾

NAKAH : 362609.88N/1402250.78E ³⁸⁾

表 app-3-5 直行経路 GOT-CVT の情報（一部抜粋）³⁶⁾

1.31 DAIGO TACAN (GOT TACAN)					
GOT TACAN 168°	$\frac{65\text{nm}}{\text{FL140}}$	347°	CVT TACAN		

※TACAN の座標

GOT TACAN : 364441.47N/1402058.42E ³⁷⁾

CVT TACAN : 354336.06N/1404759.68E ³⁷⁾

以上の航空路情報を基に、作図機能を用いて地理院地図⁹⁾に各航行援助施設及び Fix 等をプロットするとともに、それらを直線で結ぶことでノミナルトラックを作図し、JRR-3 と各航空路の詳細な位置関係を把握した。

(3) 航空路の全幅の調査及び航空路の区域が対象施設の上空に存在するか否かの判断

対象施設近傍の航空路の Fix 等及びノミナルトラックを把握したら、横方向の航空路の全幅を調査し、対象施設の上空に区域が存在するか否かを判断する（航空路の幅に係る基本的考え方は本付録文末の補足を参照のこと）。航空路の全幅は AIP、飛行方式設定基準又は航空路等暫定設定基準にて確認することができる。具体例として原子力科学研究所の JRR-3 に係る調査方法を①～⑤に示す。

① 航空路 R211 の全幅の調査及び区域が対象施設の上空に存在するか否かの判断

航空路 R211 の全幅は、表 app-3-1 に示すとおり AIP に記載^{*7}されており、「Lateral limits (1)」を参照することで 8NM (=14.816km) であることが分かる。

地理院地図⁹⁾の作図機能により「JRR-3 を中心とした半径 4NM の円」を作図し、ノミナルトラックと交わるかを見ることで、簡便に JRR-3 の上空に区域が存在するか否かを判別でき、JRR-3 の上空に航空路 R211 の区域が存在することを確認した。なお、JRR-3 の場合は表 app-3-1 中(2)の区域の拡がりを考慮せずとも全幅 8NM の区域が上空にある（「JRR-3 を中心とした半径 4NM の円」とノミナルトラックが交わる）ことが分かるが、区域の拡がりについても地理院地図⁹⁾の作図機能により表 app-3-1 中(2)の直線を書くことにより判別できる^{*8}。

② RNAV 経路 Y30 の全幅の調査及び区域が対象施設の上空に存在するか否かの判断

RNAV 経路については、評価基準⁶⁾に「航法精度を航空路の幅とみなして用いることとする。」とあり、RNAV 経路 Y30 の航法仕様は、表 app-3-2 より RNAV5 であることが分かるため、全幅は 10NM (=18.52km) とした。

また、上記①の方法のように「JRR-3 を中心とした半径 5NM の円」を作図し判別した結果、JRR-3 の上空に RNAV 経路 Y30 の区域が存在することを確認した。

③ RNAV 経路 Y108 の全幅の調査及び区域が対象施設の上空に存在するか否かの判断

RNAV 経路 Y108 の航法仕様は、表 app-3-3 より RNAV5 であることが分かるため、上記②と同様に、評価基準⁶⁾に基づき RNAV 経路 Y108 の全幅は 10NM (=18.52km) とした。

また、上記②の方法と同様に作図し判別した結果、JRR-3 の上空には RNAV 経路 Y108 の区域が存在しないことを確認したため、RNAV 経路 Y108 を評価対象外とした。

④ 直行経路 IXE・NAKAH の全幅の調査及び空域が対象施設の上空に存在するか否かの判断

直行経路は、航空路等暫定設定基準（以下「暫定基準」という。）³⁹⁾に基づき航空路の

*7 「航空路の指定に関する告示」^(注2)（以下単に「告示」という。）にも航空路 R211 が示されており、「AIP における航空路 R211」と「告示における航空路 R211」は同一の区域を示しているが、管制指示等は AIP どおりの情報が採用される^(注3)ため、AIP を参照するのが適切だと考える。

（注2）最新の告示の情報が必要な場合は、官報を確認するのが望ましい。

（注3）国土交通省航空局への問い合わせにより確認した。

*8 地理院地図⁹⁾の方位線は度単位でしか指定できない（すなわち、分・秒の細かい指定ができない。）ため、国土交通省国土地理院 測量計算サイト²⁸⁾における「距離と方位角の計算」により、特定の方位線上の座標を割り出し、その座標を用いて地理院地図⁹⁾上に区域の拡がりを作図することができる。なお、表 app-3-1 中(2)の区域の拡がりには全幅 8NM の区域に包含されるため、本判断において考慮する必要はない。

空域の範囲が設定されている。暫定基準には以下の記載がある。（一部抜粋し、文意を明確にするため著者にて一部加筆修正）

1. 航空路の区間の長さが 92NM 以下のもの（図 app-3-1 及び図 app-3-2）

(1) 切替点が中間に設定されるもの

航空路の中心線の両側に 4NM の幅を有する空域とする。

2. 航空路の区間の長さが 92NM を超えるもの

(1) 切替点が中間点に設定されるもの

VOR 等（VOR 又は TACAN）から 46NM の地点までは航空路の中心線の両側に 4NM の幅を有する空域。46NM の地点から切替点までは VOR 等から航空路の中心線の両側に 5 度の角度で広がる直線によって囲まれる空域とする。（図 app-3-3）

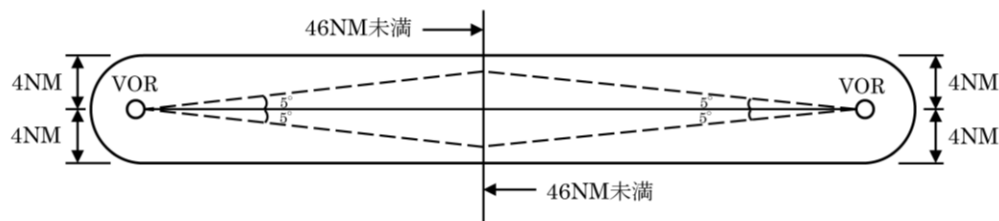


図 app-3-1 航空路の区間の長さが 92NM 未満の場合の空域概略図（図の見やすさのために縮尺等は適宜調整している。）

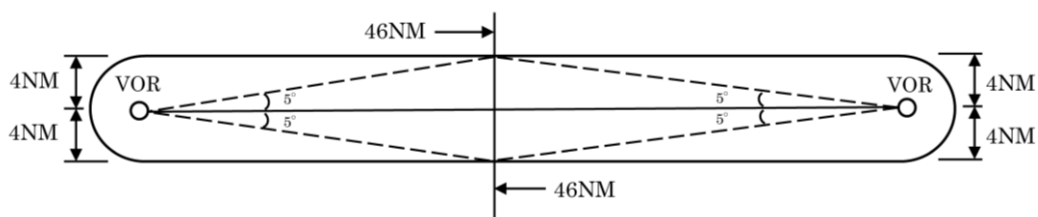


図 app-3-2 航空路の区間の長さが 92NM の場合の空域概略図（図の見やすさのために縮尺等は適宜調整している。）

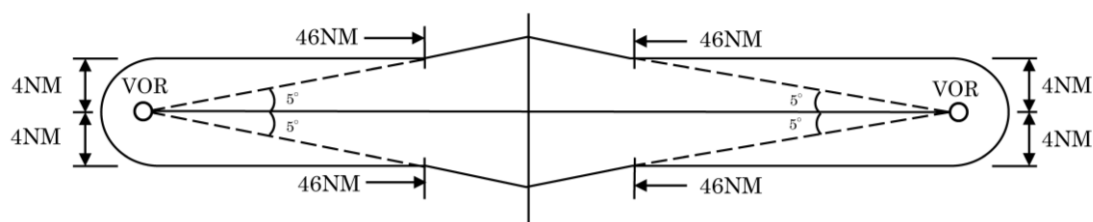


図 app-3-3 航路の区間の長さが 92NM を超える場合の空域概略図（図の見やすさのために縮尺等は適宜調整している。）

直行経路 IXE-NAKAH は経路の終端が Fix（NAKAH）であることから、VOR/DME（IXE）から 46NM までは、中心線の両側に 4NM の幅を有する空域であり、VOR/DME（IXE）から 46NM 以遠は VOR から航路の中心線の両側に 5°の角度で広がる直線によって囲まれる空域を有する*9*10ため、上記①にて示した方法を参考に作図することで JRR-3 の上空に空域が存在するか否かを判別した結果、JRR-3 の上空には直行経路 IXE-NAKAH の空域が存在しないことを確認したため、直行経路 IXE-NAKAH を評価対象外とした。

⑤ 直行経路 GOT-CVT の全幅の調査及び空域が対象施設の上空に存在するか否かの判断
 直行経路 GOT-CVT は、暫定基準³⁹⁾に基づき航路の空域の範囲が設定されている。直行経路 GOT-CVT は区間の長さが 92NM 以下であるため、航路の中心線の両側に 4NM の幅を有する空域となる。

上記①の方法と同様に作図し判別した結果、JRR-3 の上空には直行経路 GOT-CVT の空域が存在しないことを確認したため、直行経路 GOT-CVT を評価対象外とした。

(4) 航空交通量等の調査

本評価におけるパラメータとして、「茨城空港での対象航空機（民間航空機）の年間離着陸回数」及び「評価対象とする航路等（航路 R211 及び RNAV 経路 Y30）の年間飛行回数」が必要となる。それらのパラメータ設定の考え方を①及び②に示す。

*9 直行経路 IXE-NAKAH 中の Fix（TATSU 及び NAKAH）は航行援助施設ではなく、当然ながらガイダンスとなる電波を発しないため、VOR/DME（IXE）から 46NM 以遠は、図 app-3-3 のような航行援助施設の誤差や機上システムの誤差を勘案した拡がりを持つ空域となる。

*10 本評価においては、拡がりを持つ空域が対象施設の上空に存在することはなかったが、拡がりを持つ空域が対象施設の上空に存在する場合は航路の幅の判断が難しくなる。しかしながら、パラメータとして航路の幅を広く設定すると、評価上は航空機落下確率が減少することから、評価対象航路とするか否かの判断には暫定基準に従った空域を用い、評価のパラメータとしては、全幅 8NM を用いるのが適当であると考えられる。

① 茨城空港での対象航空機（民間航空機）の年間離着陸回数

国土交通省ホームページより暦年・年度別空港管理状況調書⁸⁾を参照した。茨城空港における令和元年の国際線及び国内線の着陸回数の合計は 3,210 回であることから、これを 2 倍した値である 6,420 回を年間離着陸回数 $N_{d,a}$ とした。

暦年・年度別空港管理状況調書⁸⁾のうち、用いたデータの抜粋を表 app-3-6 に示す。

表 app-3-6 茨城空港における国際線及び国内線の着陸回数⁸⁾

年（和暦）	着陸回数（回）		
	国際線	国内線	計
令和元年 ^{*11}	589	2,621	3,210

② 評価対象とする航空路等（航空路 R211 及び RNAV 経路 Y30）の年間飛行回数

国土交通省航空局に問い合わせを行い、ピーク日の交通量を入力した。当該ピーク日の航空交通量を 365 倍した値である 1,095 回（R211（GLAXY-SWAMP 間））及び 38,325 回（Y30（GURIP-SWAMP 間））を航空路等の年間飛行回数 N_c とした。

当該ピーク日の航空交通量を表 app-3-7 に示す。

*11 従前の評価（原子炉施設における新規制基準適合性確認時）においては、「JNES-RE-2013-9011 航空機落下事故に関するデータの整備」（原子力安全基盤機構）⁴⁰⁾におけるデータ収集期間の最終年（平成 23 年）の着陸回数を用いた。今回の航空機落下確率評価においては、「航空機落下事故に関するデータ（平成 13～令和 2 年）」（原子力規制庁）⁷⁾におけるデータ収集期間のうち、令和 2 年以降は新型コロナウイルスの影響により着陸回数が減ったと推測されるため、データ収集期間の最終年（令和 2 年）ではなく、令和元年の着陸回数を用いた。

表 app-3-7 評価対象とする航空路等（航空路 R211 及び RNAV 経路 Y30）における
ピーク日の航空交通量（国土交通省からのデータ提供）

航空路等の名称	令和元年下半期航空交通量（回） ^{*12}
	（ピーク日：8月16日）
R211 （GLAXY－SWAMP 間）	3
Y30 （GURIP－SWAMP 間）	105

*12 従前の評価（原子炉施設における新規規制基準適合性確認時）においては、「JNES-RE-2013-9011 航空機落下事故に関するデータの整備」（原子力安全基盤機構）⁴⁰⁾におけるデータ収集期間の最終年（平成 23 年）の航空交通量を用いた。今回の航空機落下確率評価においては、「航空機落下事故に関するデータ（平成 13～令和 2 年）」（原子力規制庁）⁷⁾におけるデータ収集期間のうち、令和 2 年以降は新型コロナウイルスの影響により航空交通量が減ったと推測されるため、データ収集期間の最終年（令和 2 年）下半期ではなく、令和元年下半期の航空交通量を用いた。

航空路の幅に係る基本的考え方（補足）

本評価においては評価基準⑨の考え方に基づき航空路の幅を設定している。一方で、飛行方式設定基準には航空路の区域に関する基準が定められているため、文献を参照し得られたその基準に対する考え方を以下に示す。

航空機が設定された経路を飛行しようとした場合、地上施設の誤差や機上システムの誤差などにより実際には設計上のノミナル経路からズレて飛行することになる。こうした誤差や偏位の多くは正規分布に従うとみなすことができる。中心からの偏位が σ （標準偏差）以内に収まる確率は約 68.3%、 2σ の範囲に収まる確率は約 95.4% になる。例えば、既存航法による計器進入/進入復行方式などの保護区域の広がり は 3σ 相当であり、飛行時間の 99.7% の時間において航空機はこの区域内に含まれることを意味している。また、RNAV 及び衛星を用いた方式で用いられる RNP 値は、航空機の中心線からの偏位の 2σ 相当の値で示され、例えば RNP1 相当の航法精度であれば、飛行時間中 95% (2σ) の確率で中心線の左右 1.0NM の範囲に含まれることを意味する。

障害物間隔を勘案すべき区域は基本的に飛行すべきトラックの両側に配置されており、区域は原則的に一次区域と二次区域に区分され、区域両側のそれぞれ内側半分が一次区域、外側半分（25%）が二次区域となる（図 app-3-4 参照）。ただし、旋回中などこの一般原則が適用されない場合や RNP AR 進入方式等の二次区域が設定されない場合がある⁴¹⁾ため、調査しようとする航空路の各方式設計を確認する必要がある。

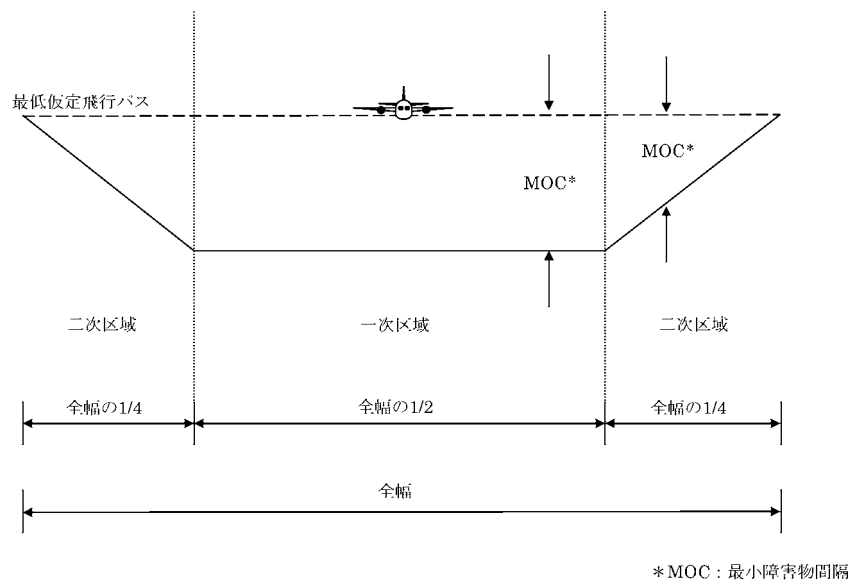


図 app-3-4 一次区域及び二次区域の概略図⁴²⁾（飛行方式設定基準を参考に著者にて作成）

This is a blank page.

