

# 空港技術の開発・活用に関する海外事例

---

令和5年6月6日(火)

## 本資料について

- 本資料で示す海外事例は、空港管理運営者の年次報告書・ホームページ、関連公的機関（ACI、ICAO、IATA、FAA等）の公開資料、各種研究機関の関連レポート、空港・航空業界ニュースサイト、業界雑誌、関係企業ホームページ及び航空会社ホームページ等から収集したものです。
- 事例によっては、取組や製品のアピールを目的として作成されたホームページ等から収集した情報を記載していることから、マイナス要因に関する情報が少ない場合もあるという点にご留意下さい。
- また、本資料は、空港技術基本計画の策定に向けた議論の参考になると想定される情報について、令和5年度第1回懇話会で示された骨子案の第2章の目次I～IVの4つの項目に沿って収集・分類致しましたが、各項目の事例を網羅的に収集できていないことにご留意下さい。

# I. 国民の安全・安心の確保(浸水対策の技術)

## ◆ 空港の浸水対策 (チャンギ空港/SIN)

▶ **背景** : 高温多湿帯に位置するシンガポールは、元々多雨の地域であるが、昨今の気候変動がもたらす異常気象の多発が懸念されている。大雨は空港の排水溝の溢れや鉄砲水の原因となり、空港の運営や安全に深刻な影響を及ぼすため、SIN空港の管理運営者であるCAGは気象変動への耐性を高めるための様々な浸水対策を行っている。

### ▶ 対策1 : 新型センサーの設置

- 空港内の排水管ネットワークの要所11か所に、閉回路テレビカメラを取り付けた太陽光発電式監視センサーを設置。監視ダッシュボードにより、排水路や遊水地に水が溜まっていく速度をリアルタイムで把握する。
- 排水口の水位が60%を超えると自動的にセキュリティグリルが上がり、水が放出されるなど、具体的なアクションが指示される。
- リアルタイムのカメラ画像に加え、CAGは「Google排水路監視マップ」を開発。水位が70%を超えた水路はデジタルマップ上で赤く示され、危機的状況が把握できる。
- ゴミや詰まりなどの異常が発生した場合は、迅速に現場に人員を派遣し、排水スクリーンに付着したゴミなどを取り除き、浸水の可能性を軽減している。

### ▶ 対策2 : 遊水地の建設

- 空港は平均海面より高い場所に設置されているが、近接する運河への排水を適切に管理するため、運河につながる空港の南側にプール216個分に相当する54万㎡の遊水地を建設。
- ターミナル3近傍からの雨水は、通常、遊水地に溜められた後に、運河へ放流している。

### ▶ 対策3 : 降雨量の増加に対応したインフラ整備

- 100年確率の降水量に対応するため、排水路を段階的に拡張。
- ターミナル間の地下トンネルに、6時間以上の雨水を貯留できる集水タンクを設置。
- 排水関係のポンプシステムに冗長性をもたせ、独立した2組の水位計とポンプの設置により、システム故障に対する耐性向上を図る。



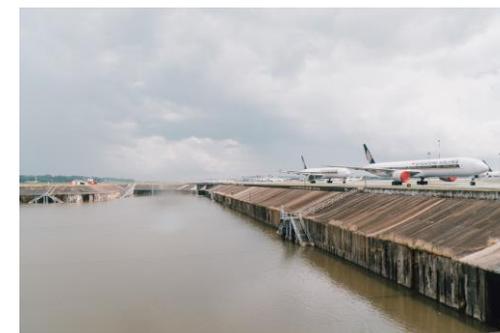
排水路に設置された太陽光発電式監視センサー



Google排水路監視マップ



監視画面



空港南側の遊水地

# I. 国民の安全・安心の確保(レジリエンス向上、消火救難対策)

## ◆気候変動と悪天候に対するレジリエンス向上対策 (FAA)

- ▶ **概要** : FAAと運輸省 (DOT)Volpeセンターは、空港運営とレジリエンスを脅かす短期及び長期の気候リスクに対処するため、以下の成果を得ることを目的として、これらの課題に取り組むプロジェクトを2021年9月に開始した。研究は2026年まで継続される。

### <プロジェクトの目的>

- ・気候変動による「空港システムにおけるリスク」の特定
- ・レジリエンス向上に資する「将来投資の優先順位付け」のための「必要な勧告」の区分け

- ▶ **対応** : このプロジェクトを通じて、FAAは以下を行う。

- ・ケーススタディの実施。
- ・レジリエンス分析フレームワークの開発。(開発主体は空港及びコンサルタント)
- ・舗装、排水、電気システムの性能予測影響に関するタイムスケールやシナリオについて、フレームワークの基準への反映。
- ・回復力への投資の優先順位づけの支援。

### ▶ 成果の扱い :

- ・収集したデータは、施設の改善や移転の可否、実施時期の決定等に利用される。また、より広範なFAAの政策にも反映される。
- ・このフレームワークでは、空港の電力供給システムのエネルギー回復力を促進するための基準も策定される。

(出所: FAA HP <https://www.faa.gov/airports/environmental/resiliency>)

## ◆消火救難体制の強化 (チャンギ空港/SIN)

- ▶ **概要** : SIN空港が最高の安全基準を維持するため、空港の管理運営者であるCAGは、消火救難体制強化に努めている。

### ▶ 対応 :

- ・ **高機能消防車の導入** : 従来型より泡と水タンク容量が大幅に増大したローゼンバウア製の大型消防車に加え、消防士の機材侵入や乗客の緊急降機用として、機材に自動的に装着される階段車両を導入した。
- ・ **新技術の活用** : 大規模な消火救難演習において、消火ロボット、消防士用身体装着カメラ、負傷者搬送用自律型担架などの新技術が試行されている。
- ・ **総合病院 (CGH)との戦略的パートナーシップの締結** : CAGとCGHは危機管理ワークフローのベストプラクティスを共有し、空港と病院間のインターフェースを強化し、事故発生時の死傷者によりよいサービスを提供できるよう、2021年に覚書を締結した。(CGHはシンガポール保険省と経済開発庁の支援を受け、医療支援ロボット技術センターを設立し、プロセスの自動化、仮想病院の開発、医療訓練の強化に重点を置いている)



消火ロボット



自動階段車

(出所: Changi Airport Group • CAG Annual Report 2021-2022、及び <https://www.changiairport.com/corporate/media-centre/changijourneys/the-airport-never-sleeps/airport-emergency-service.html>)

# I . 国民の安心・安全の確保(消火救難訓練施設の機能強化)

## ◆火災訓練研究センター／FTCR (ダラス・フォートワース空港／DFW)

➤ **概要** : DFW空港では1995年以来、火災訓練研究センター (FTRC)での革新的な学習環境の下で、最先端の航空機消火救難訓練サービスを提供している。開校以来、FTRCは消防士のための訓練演習、遠隔及びオンライン教育、研究施設として世界有数の成長を遂げている。FTRCでは20以上のコースが提供され、米国44州と海外52カ国から37,000人以上(2020年時点)が受講している。

➤ **特長** : 初級コースから特殊な上級コースまで用意されており、それぞれの教育訓練のために広大な用地に以下のような様々な訓練施設が配備されている。

- ・複数機材の訓練モックアップ
- ・特殊航空機消防訓練用モックアップ
- ・3D液体炭化水素燃料ピット
- ・消防車両運転訓練用オフロードコース
- ・訓練制御のための2階建て訓練指令センター
- ・3Dシミュレーション機器を備えた大規模な先端教室・・・など

➤ **システム** : 一例として以下のようなコースではそれぞれ受講料、定員、受講時間が示されている。また、外国人受講者向けの多言語コースも用意されている。

コース名	教育訓練の概要	受講料 (\$)	定員 (人)	受講時間 (時間)
NFPA1003基本コース	FAA、ICAO、NFPA1003準拠	1,450	16	40
消防士認定 (FOLL-64) I・II	NFPA1021「消防士の専門資格基準」に準拠	450	14	64
消防インストラクター認定 I・II	消防指導員の専門資格基準に従った教育訓練	350	14	48
上級消防アカデミー	幹部消防士のスキルと経験の取得	500	10	80
航空機事故	航空機の動的な緊急事態に対する様々な戦略	1,050	16	40
空港緊急事態の指揮と制御	空港の緊急事態に対する消防士の作戦行動	550	14	24
ARFFオペレーター	NFPA1002に準拠した全ての実践的訓練	1,650	8	24
液化炭素化ビヒクルの大量使用	炭化水素燃料流出エリアにおける車両火災制御	5,050	—	—
ヘリコプター／ヘリポート	ヘリコプターとヘリポート特有の訓練	400	14	24
戦略と戦術 (ラテン語コース)	FAA、ICAO、NFPA1002準拠	1,600	14	24



# I . 国民の安全・安心の確保(顔認証技術、安全管理)

## ◆ TSAによる新しい顔認証技術 (CAT-2)

- **概要** : TSA (Transportation Security Administration/米国運輸保安局) はCAT-2 (Credential Authentication Technology 2/資格情報認証技術) と呼ばれる新しい認証技術について、2022年より全米空港で導入を開始した。
- **システム** :
  - ・乗客の写真をリアルタイムで撮影し、スキャンしたIDと照合する。(乗客が運転免許証やパスポートなどのIDを挿入してスキャンすると、IDの写真と照合し、その日に空港を出る予定があるか、その書類が有効かなどが自動的にチェックされる。)
  - ・乗客はセキュリティクリアのためにTSA職員に搭乗券を渡す必要はなく、航空会社のチェックイン手続きは通常どおり実施される。
- **効果** : IDチェックの効率を高め、人との接触を減らすことで、チェックのスピードアップを実現する。
- **問題点** : 有色人種は白人よりも誤認識が発生しやすいという研究結果もあり、人種差別問題を懸念する声がある。

## ◆ FAA・SMS義務化に対応した「エプロンAI」の活用

- **背景** : 米国では、近年相次ぐ安全事故発生を受け、全国258空港(年間10万回以上の運航のある空港、ハブ空港、国際線が発着する空港のいずれかを満たす空港)において、FAAの安全管理システム(Safety Management System/SMS)の導入を義務付けた。2023年4月以降から段階的な実施が見込まれている。
- **概要** : SMSは安全方針、安全保障、安全リスク管理、安全推進の4つの要素で構成されているが、AIやコンピュータービジョンの活用により、空港安全に関するリスク評価、ビデオ監視、予測分析、意思決定支援、予知保全等が可能となる。
- **システム** : Assaia社の「エプロンAI」のRisk Control機能は、エプロン上での安全でない行動を継続的に監視すると共に、リアルタイム及び過去の安全データにより、スタッフは潜在的な脅威を効率的に認識するためのトレーニングを受けることができる。この情報を、既存の安全管理システムに反映させることで、空港のセキュリティを更に最適化することができる。
- **効果** : Assaia社は、「エプロンAI」の導入により、空港グランドハンドリング作業において、安全ではない行動の発生が50%減少したと報告している。
- **導入実績** : 「エプロンAI」は2019年にガトウィック空港で初めて導入され、その後、JFケネディ空港やトロント・ピアソン空港、シアトルタコマ空港など、多くの空港で導入されている。

## Ⅱ. 効率的・効果的な整備・メンテナンス(空港舗装面の検査)

### ◆ 空港舗装健全性検査ロボット

- **製造元** : Shanghai Guimu Robot (上海圭目机器人/中国)
- **概要** : スマート舗装検査システムを通じて、舗装の老朽化問題を解決し、空港舗装のライフサイクル管理を行う。
- **システム** : 空港舗装健全性検査ロボットと、舗装デジタル管理ソフトウェアシステム (GM-DAS)より構成される。
- **特徴** :
  - ・ 検査ロボットが舗装の外部損傷と内部損傷の両方について、3Dカメラ・各種センサー・計測器等により、場所・種別・損傷度合い・深刻度等のデータを収集する。
  - ・ データは全てGM-DASにアップロードされ、自動認識技術により各種3Dビジュアル画像を生成すると共に、ライフサイクル管理のためのデジタルデータベースを作成する。
- **実績** : 北京大興国際空港をはじめ、中国国内空港で導入済み。2023年より欧州主要空港で試験的に舗装検査を実施する予定。

### ◆ ドローンを使った空港舗装面検査

- **製造元** : Silent Falcon USA THECHNOLOGIES (米国)
- **概要** : 米国FAAでは空港舗装の維持管理のために、舗装管理プログラム (PMP)による検査を義務付けており(\*)、 「ASTM D5340」にて舗装面の検査・評価に対する標準ガイドランスを提供している。Silent Falconはマルチローター型ドローンを使用してFAAのガイドランスに従い空港舗装面をスキャンし、舗装健全性の判定と障害度合いを分析するものである。  
(\*)連邦政府の補助金を受け、PFCプログラムで資金調達する場合
- **システム** : 同社のドローン技術と独自のAIソフトウェアを組み合わせ、空港舗装面を30分~1時間で100%スキャンし、迅速かつ正確な再現性で分析する。
- **メリット** :
  - ・ 人的な作業に比べ、正確で緻密なデータ収集が可能。
  - ・ 舗装面の異物破片について、高い精度で検出できる。
  - ・ ドローンの活用による効率化により、データ収集・分析にかかるコストを30~60%削減できる。
- **その他** : 同社のフライトチームはFAAの有人及びリモート認定を受け、数千時間の経験を有している。

## Ⅱ. 効率的・効果的な整備・メンテナンス(作業ロボットの活用)

### ◆自律型草刈りロボット (スキポール空港/AMS)

- **製造元** : 不明
- **概要** : AMS空港では、従来の草刈り機に代わるものとして、2022年初頭から自律型ロボット草刈り機の試験運用を開始している。
- **特徴** : 自律型ロボットは完全自動化されており、太陽光パネルで駆動するため、エアサイドの草地を持続可能な方法で刈ることができる。この機器の導入で年間3万ℓのジーゼル燃料を節約することを目標としている。
- **状況** : 現状で制御、セキュリティ、バリアシステム、不整地での動作テストは成功している。

(出所: Schiphol Airport Annual Report 2022 )

### ◆空港舗装マーキング及びメンテナンス用ロボット

- **製造元** : Tiny Mobile Robots (デンマーク)
- **特徴** : 空港で規定されている舗装面のマーキング作業を、CADデータを転送したロボット (Tiny Surveyor) にて自動で行うものである。
- **システム** : オペレーターは付属のタブレットの専用アプリを使い、マーキング位置とマーキング内容を選択する。背景地図上に直接、数字や文字を配置することや、数字や文字を空港の規定に合わせてカスタマイズすることができる。
- **特徴** :
  - ・作業時間を1/5に短縮することが可能とされており、滑走路閉鎖時間を最短化できる。
  - ・夜間作業が可能であるため、メンテナンス作業のスケジュールを柔軟に組むことができる。



(出所: Tiny Mobile Robots HP <https://tinymobilerobots.com/>)

## Ⅱ. 効率的・効果的な整備・メンテナンス(作業のロボット化)

### ◆ 航空機洗機ロボット「Noedic Dino」

- **製造元** : Noedic Dino Robotics AB。スウェーデンで製造。
- **車種** : 小型機～B787クラスの各機種に対応した3車種。
- **システム** : 航空機の外装を洗浄及び清掃するために設計されており、コンピューター化された自己完結型システムを備えている。
- **車両構成** : 可動式電源ユニット、スプレーノズル、回転クリーニングブラシで構成されている。
- **メリット** :
  - ・軽量のワイヤレスリモコンにより、作業員1名で簡単かつ安全に操作することが出来る。
  - ・作業員の怪我が削減され、安全性が高まる。
  - ・従来の手作業に比べ、作業人数、作業時間を手作業の1/3程度とすることが出来る。



\* 同様の車両はスウェーデンのAEROWASH社でも販売されている。



### ◆ 航空機の除氷、機体洗機、エンジン洗浄、技術検査ロボット

- **製造元** : ノルウェーのMSG Aviation
- **概要** : 世界最大級の作業ロボットであり、ナローボディからワイドボディまでの機材の雪や氷を取り除くことが出来る。更に、機体やエンジン清掃、機材の技術的な検査などを行うことが可能である。
- **システム** : MSGが独自開発したAIソフトウェアにより稼働。
- **メリット** : 機体検査では、カメラとAIを使い、機体の損傷をスキャンすることにより、従来は数週間かかる作業が数時間以内に正確に特定できるとされている。
- **実証実験** : MGS Aviation社はオスロ空港内のエリアを3年間貸与され、今後テストと開発を行う予定である。

## Ⅱ. 効率的・効果的な整備・メンテナンス(デジタルツイン)

### ◆デジタルツインによる空港運用の最適化(スキポール空港/AMS)

- **概要** : AMS空港では、2017年に既存施設の大規模改修と新規施設の建設事業が開始された。この事業では、多数のデジタル資産の活用を目的として、空港デジタルツインを構築した。これは単なる建築計画の可視化ではなく、仮想世界において、①変更点のモデリング、②部品やシステムの機能テスト、③トラブルシューティングの実施、などを行うことにより、イノベーションを加速し、時間と費用の節約を図るものである。
- **システム** :
  - ・ 共通データ環境 (CDE : Common Data Environment) であるデジタルツインは、BIM (Building Information Model) データ、GIS (地理情報システム) データ、プロジェクトの変更・インシデント、財務情報、様々なリアルタイムデータなど、多くの情報源からのデータを管理している。
  - ・ リアルタイムデータは、AMSの空港敷地 (約2,800ha) 内の8万カ所以上の資産から情報を収集し、処理し、資産の追跡や維持管理を行っている。
- **効果** :
  - ・ 処理されたBIMデータは3Dで表示され、空港関係者に対して現在の建設状況を表示するとともに、資産管理機能も有している。
  - ・ このシステムは、リアルタイムに動作状況を把握できるため、部品の変化が及ぼす影響の監視や、エスカレーター、コンベアーベルト、発券機など、空港内の自動化された旅客、貨物システムを監視することができる。
  - ・ また、旅客、貨物システムを構成する多数の機械装置の状況を継続的にチェックしながら、メンテナンス履歴を記録し、システム制御も監視している。
  - ・ 空港内のセンサーが、旅客の移動時間と移動パターンを測定し、待ち時間、占有率、流動パターンに関するリアルタイム情報と履歴情報を空港管理者に提供する。これは、安全で安心な環境の維持に役立っている。

# Ⅲ. 空港の持続的な発展/人出不足解消(GSE車両の最少化)

## ◆アイランダー国際空港でのGSEレス・ハンドリングシステム

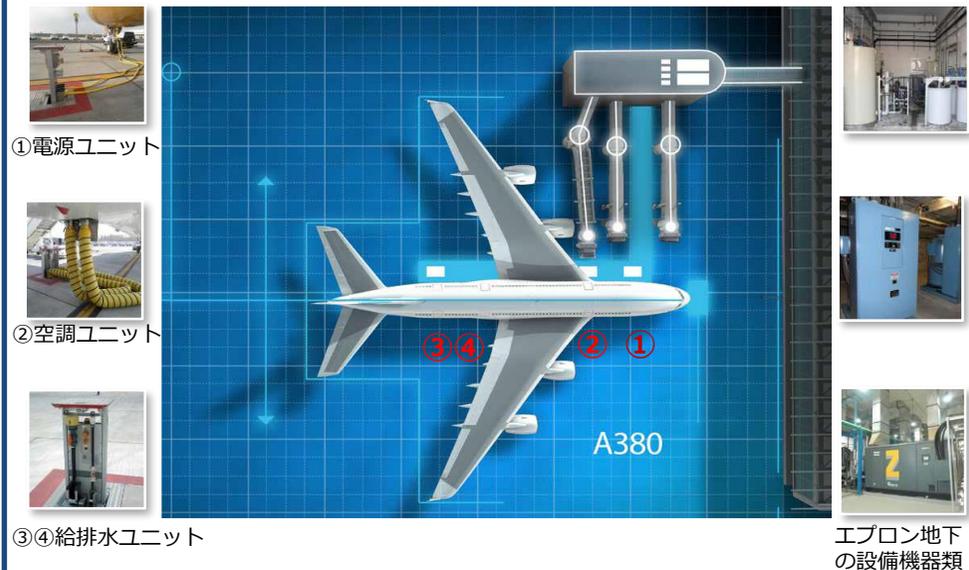
- ▶ **概要**：1990年代に、スウェーデンのアイランダー国際空港において、冬期の厳しい作業環境改善とハンドリングコスト削減を目的として、小型航空機のハンドリングにおいて、一切GSE車両を使わないシステムが開発・稼働されていた。
- ▶ **システム**：以下のシステムにより最小人数の作業員で対応可能。
  - ・エプロン地下に燃料、電源、空調用機械室を設置。機体への供給はエプロンに埋め込まれたピットを介して行う。
  - ・手荷物や貨物はターミナルビルから機体の貨物室に伸びた伸縮式ベルコンにより、直接搬送される。
  - ・航空機のプッシュバックは、前輪にリモコン式ユニットをセットし、エプロン上に設置されたガイドウェイに沿って行われる。
  - ・機内食や機用品は専用固定橋から直接機内に搬入される。



(出所: FMT <https://www.fmt.se/about/> 及び JAS視察資料)

## ◆E3ゲートシステム (DABICO社)

- ▶ **概要**：アラブ首長国連邦の空港の電気・機械設計サービスの専門会社であるDABICO Airport Serviceが提案。
- ▶ **システム**：400Hz電力、空調、給水、汚水処理の4つのシステムを、エプロン地下に設けたトンネルで中央処理プラントと接続。機体への供給処理は、エプロンに埋め込まれたピットを介して行う。(別途、サービサー不要の燃料供給施設の併設も可能)
- ▶ **メリット**：これらの作業をGSE車両の配備をせず、1名のオペレーターで実施することが出来る。
- ▶ **課題**：大規模なインフラ設備の設置となるため、新空港建設時や大規模なエプロン改修時での対応となる。



(出所: <https://www.dabico.com/applications/remote-apron/>) 10

# Ⅲ. 空港の持続的な発展(空港車両の自律走行)

## ◆海外空港における空港車両自動運転の状況

➤ **状況** : 2023年4月にアブダビで開催されたIATAの「自律型GSE-ランプでの実現」と題したウェビナーでは、世界15カ国以上の空港で自律走行型エアサイドソリューションの試験が行われていることが報告された。

### ➤ 海外事例 :

#### ◆スキポール空港 (AMS) / オランダ (出所 : <https://www.schiphol.nl/en/innovation/blog/an-autonomous-airport-in-2050/>)

- ・AMS空港ではロイヤル・スキポール・グループ (CAG)が2050年までにエアサイド業務の完全自律化を計画している。
- ・これは自律荷物運搬車、自動運転ランプバス、自律型牽引車、自動搭乗橋が含まれており、これらはAI搭載の交通管理システムによって制御される予定である。

#### ◆シュトゥットガルト空港 (STR) / ドイツ

(出所 : <https://website.stuttgart-airport.com/newsroom-en/media-centre/videos/autonomous-snow-removal-new-winter-service-technology-tested-at-stuttgart-airport/>)

- ・STR空港では、エアサイドで無人の自律走行型除雪車を試験導入した。
- ・このシステムでは指定された除雪コンセプトに従い、自律走行のスノープラウ、ロータリーブラシ、ブローワーを同じプラットフォームで制御するテストを行っている。  
→国内では、本年3月に新潟空港で除雪車の運行支援ガイダンスシステムの実証実験を実施。

#### ◆フランクフルト空港 (FRA) / ドイツ (出所 : <https://airport-world.com/frankfurt-airport-to-trial-autonomous-baggage-and-cargo-tractor/>)

- ・FRA空港では、自律走行型TT車の実証実験を行っている。
- ・空港内の8kmのテストコースを走行し、最高時速13km、最大で荷物用トレーラー3台又は大型貨物用トレーラー2台を牽引する。
- ・実験ルートでは他の交通機関との交差や、人が行きかう施設内での運転も含まれている。

#### ◆JFケネディ空港 (JFK) / 米国 (出所 : <https://metroairportnews.com/panynj-to-host-second-platooning-demonstration-of-autonomous-vehicles-at-jfk-airport/>)

- ・JFK空港では、米国空港では初となる、8人乗りの無人電気自律シャトル3台を小隊で運行する実証実験を行った。
- ・閉鎖中の長時間駐車場の道路での実験であったが、今後、近くの駅やレンタカー施設等と空港を結ぶ短距離区間において、乗客一括輸送の実運行が期待されている。

#### ◆バルセロナ空港 (BCN) / スペイン (出所 : <https://www.caasint.com/wfs-and-aena-launch-trial-of-automated-guided-vehicles-for-cargo-transportation-at-barcelona-airport/>)

- ・BCN空港では貨物上屋とターミナルビル間での2.3kmにおいて、貨物車両の自律走行の実証実験を開始した。(2023年5月まで実施予定)
- ・これはIATAの地上業務自動化・デジタルワーキンググループ (GAD)が策定している自動地上車両 (AGV)ガイドラインに沿ったものである。

# Ⅲ. 空港の持続的な発展(空港におけるロボット技術の活用)

## ◆ 空港におけるロボットの活用

- **工事現場での対応**：ヒースロー空港（LHR）では大規模な建設プロジェクトの効率と安全性を向上させるため、Boston Dynamics社が開発したロボットに3Dレーザースキャンを搭載した「Dave」とよばれるロボット犬を試用している。建設会社のMace社と連携し、空港内で進行中の貨物トンネル改修工事において、老朽化した機械・電気施設のスキャンデータを迅速かつ安全に取得することが出来るとされている。
- **食事のデリバリー**：シンシナティ・ノーザンケンタッキー空港（CVG）やピッツバーグ空港（PIT）では、Ottonomy社の自律配送ロボット「Ottobots」を試験導入した。これはスマートフォンで旅客が軽食や飲料のアイテムを注文すると、「Ottobots」が空港内の飲食店から指定されたゲートまで直接デリバリーしてくれるものである。
- **外周監視**：CVG空港ではロボット企業のGhost Robotics社の「ROVR(Remote Observer Virtual Responder)」を導入することを2023年初めに発表した。このロボットは空港周辺に配備され、空港に侵入する野生動物や鳥の集団の監視を効率的に行うことを目的としている。なお、このロボットは米国の国境警備でも試験配備されている。
- **清掃作業**：旅客ターミナルビル内の清掃ロボットは、世界中の空港で数多くの導入実績があるが、チャンギ空港（SIN）では清掃ロボット、モップロボット、廃棄物処理ロボットの外見を工夫し、ニックネームをつけるなど、旅客や来港者の目を楽しませる試みを行っている。
- **爆発物・薬物検知(将来構想)**：空港では既に爆発物探知犬や、麻薬検知犬が活躍しているが、米国のバイオテクノロジーの新興企業であるKoniku社は、生細胞とシリコンチップを融合させたハイテクセンサーにより、4,000種類の化合物を数秒で識別できるソリューションを提供している。このセンサーを搭載したロボットが実用化されれば、爆発性の化学物質から麻薬、特定のウイルスまで検知できることが期待され、空港のセキュリティがより厳重なものとなる。



工事用ロボット

(出所: <https://www.bostondynamics.com/solutions/inspection>)



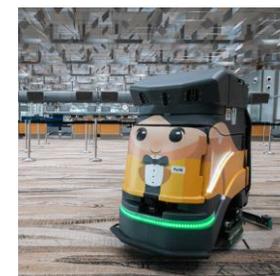
デリバリーロボット

(出所: <https://ottonomy.io/services/>)



外周監視ロボット

(出所: <https://www.ghostrobotics.io/>)



清掃ロボット

(出所: Changi Airport Group  
<https://nowboarding.changiairport.com/discover-changi/robots-at-changi-airport-and-jewel.html>)



モップロボット

# Ⅲ. 空港の持続的な発展(バーチャルキューイング・新形態売店)

## ◆バーチャルキューイング (シアトル・タコマ空港/SEA)

- **目的** : SEA空港では、保安検査場の長い行列や待ち時間に対処するため、旅客が行列に並ぶことなくTSA (Transportation Security Administration/米国運輸保安局) の検査を受けられる、「SEA Spot Saver」と呼ばれる新しい行列技術を導入した。
- **対象** : SEA Spot Saverは、午前5時から午後10時までに出発する全ての航空会社の旅客が対象となる。
- **手続き** :
  - ・旅客は、搭乗の5日前まで、または空港に到着した際に、携帯電話で保安検査の列の特定の場所の予約を取る。(搭乗する航空会社、目的地、便名と人数、連絡先を入力)
  - ・すべての旅客が無料で利用でき、アカウントや会員登録の必要は無い。
  - ・予約には限りがあり、予約枠が「売り切れる」こともある。
  - ・旅客は空港係員に予約確認画面を見せることにより、待たずに検査が受けられる。予約約時間に遅れた場合は、通常レーンに並ばなくてはならない。
- **効果** : 旅客の待ち時間の短縮、旅客満足度の向上、航空以外の収入の増加を実現することができる。(乗客アンケートでは63%の旅客が買物や飲食に時間を費やすようになったと答えている)
- **導入空港** : ロサンゼルス空港、ニューアーク空港、カルガリー空港、フェニックス・スカイハーバー空港など、多くの空港で導入され始めている。

(出所: Seattle Tacoma Airport HP <https://www.portseattle.org/SEAspotsaver/>)

## ◆新しい空港内売店の形

- **Amazonの「Just Out テクノロジー」の活用** :
  - ・買い物客は店の入口でクレジットカードやデビットカードをスワイプするか、QRコードをスキャンする。
  - ・天井に設置されたカメラと棚の重量センサーを組み合わせ、店内を移動する買物客と商品を自動的に追跡することにより、買物客は購入する商品をスキャンしたり、レジ係とのやりとりなしに店外に出ることができる。
  - ・米国では、カンサスシティ空港、ダラス・フォートワース空港、シカゴ・ミッドウエイ空港などで、このテクノロジーを利用したノンストップ・ストアが設置されている。
- **入体験型小売店舗の展開** :
  - ・VRやARにより消費者が、デジタルで服やアクセサリを試着するトレンドは、空港の小売業でも広まりつつある。
  - ・ヒースロー空港では、2021年11月にシャネル、デュフリ、JCDecauxと連携し、ターミナル5の出発ラウンジで体験型店舗を展開した。
  - ・この店舗ではARデジタルスクリーンを使い、商品を仮想的に試着することが出来る。

(出所: Future Travel Eperience HP

<https://www.futuretravelexperience.com/2023/03/vantage-on-commercial-innovation-trends-automation-and-robotics-accelerated-digital-transformation-and-immersive-experiences/>)

(出所: Future Travel Eperience HP

<https://www.futuretravelexperience.com/2022/06/13-innovations-that-have-the-potential-to-future-proof-airport-operations/>)

# Ⅲ. 空港の持続的な発展(メタバース)

## ◆チャンギ空港(SIN)の取り組み

➤ **概要** : SIN空港は、オンライン空港体験に革命を起こし、旅行客を魅了し、体験を通じてより良いサービスを提供することを目的に「Changi Verse」を立ち上げ、メタバースに参入した。

### ➤ システム :

- ・物理的な障壁や時間帯を超えて、チャンギ空港のファンや空港を利用する機会のない人々が、デジタル空間でチャンギ空港を探索し、交流することができる。
- ・「Changi Verse」のプレイヤーは、チェックインや手荷物受取など、空港での体験を模した様々なミニゲームを体験することができるほか、チャンギカートでのレースも体験できる。(レースゲームでは、2023年9月まで、毎月のトップレーサーに航空券が贈られる)
- ・他のゲームにおいても、ゲームを進めると、プレイヤーはレベルアップし、新しいエリアやアイテムを入手することができる。

### ➤ 効果 :

- ・開発者は、「Changi Verseは、デジタルと物理的な世界を組み合わせることで、空港の環境をシミュレートし、人間の双方向性を新しい次元に引き上げ、顧客体験を強化し、イノベーションを促進する没入型体験を生み出すことができる。」としている。



チャンギカート



ターミナル内を体験するアバター

(出所: Changi Airport Group • CAG HP <https://www.changiairport.com/>)

## ◆仁川空港(ICN)の取り組み

➤ **概要** : ICN空港では、仮想空間で時間に縛られることなく、空港で提供されるサービス(セルフチェックイン、セルフバゲージドロップ)を間接的に体験できる「メタバース仁川空港」を開設した。

### ➤ システム :

- ・上記のサービスを体験できるほか、「スマート空港技術のオンライン展示」、「仁川空港のスマートサービスを紹介するウェブトゥーン」、「他のプレイヤーと交流できるゲーム」などの体験も可能である。
- ・「スマートサービスを体験する」、「ウェブトゥーンを読む」などのミッションをクリアすると、「メタバース仁川空港」内で使用できるコインを獲得でき、このコインでアバターの新しいコスチュームを購入するととも可能。

### ➤ 効果 :

- ・仁川空港のもう一つの顔として、世界中から訪れる観光客との出会いやコミュニケーションに期待がかかる。



アバターが、ウェブトゥーンを読んでいる状況



獲得したコイン

(出所: Incheon Airport Blog <https://incheonairport-blog.com/>)

# IV. 航空分野の脱炭素化(航空機のオペレーション-1)

## ◆ TaxiBot / セミロボット方式ハイブリッドエンジン 航空機牽引車

➤ 製造元 : Aerospace Industries / イスラエル

### ➤ 概要 :

- ・航空機はエンジンの動力を使わずに、パイロットが操縦席から自分で操作し、滑走路まで走行することが出来る。
- ・FAAやEASAよりB737、A320のトーイング認証を取得済。

### ➤ メリット :

- ・航空機の地上走行時の燃料消費量を大幅に削減出来る。  
→ スキポール空港での2020年3月~8月の実証実験では、燃料消費量とCO2排出量が50%~65%削減されたことが報告されている。
- ・航空機のブレーキへのダメージの軽減。
- ・時速23ノット(約40km/h)での走行が可能。

### ➤ デメリット :

- ・駐機場所から滑走路端までの車両の往復に時間を要する。
- ・パイロットの操作訓練を要する。
- ・価格が高い。(一般的なディーゼル駆動車両の約3倍)

### ➤ 導入空港 :

- ・実証実験 / フランクフルト空港 (2014年)
- ・デリー空港(2台)
- ・バンガロール空港(1台)
- ・スキポール空港 (1台)  
→2030年までに数台導入予定



(出所: SMART AIRPORT SYSTEMS <https://www.smart-airport-systems.com/solutions/taxibot/>)

## ◆ WheelTug / 航空機の電動自走システム

➤ 製造元 : WheelTug PCL / 米国

### ➤ 概要 :

- ・航空機の前輪に取り付けられた2つの電気モーターを駆動することにより、牽引車やジェットエンジンを使わずに、パイロットの操作で機材を移動させることが出来る。
- ・FAAはB737NGのSTC (追加型式設計) 認証計画を承認。

### ➤ メリット :

- ・地上作業時間を30%短縮することが出来る。
- ・航空機の地上走行時の燃料消費を大幅に削減できる。  
→ 燃料消費量を約80%削減できるとの報告あり。

### ➤ デメリット :

- ・機体重量の増加(+150kg程度)や設置コストが発生する。
- ・路面状態や傾斜勾配によっては十分な制動力発揮が困難。
- ・現状では小型航空機での時速10km程度の走行が限界。
- ・コックピット改修やパイロットの訓練が必要。

### ➤ 導入計画 :

- ・実証実験 / メンフィス空港 (2020年9月)
- ・25の航空会社が意向表明書(LOI) に署名。
- ・WheelTug搭載の航空機の稼働時期は未定。



(出所: WheelTag <https://www.wheeltug.com/>)

# IV. 航空分野の脱炭素化(航空機のオペレーション-2)

## ◆航空機牽引の新技术 (ATS WORLD WIDE システム)

- **構想元** : Aircraft Towing Systems (ATS) World Wide / 米国
- **概要** : 既存誘導路やエプロンの真ん中に地下トンネルを設け、その中を走行するプルカー（電動モノレール）により、航空機がエンジンオフのまま航空機を移動させる電気牽引システム。
- **システム** : プルカーは航空機の出発/着陸に合わせて地下を移動し、上部に設置された台車に航空機の前輪を自動的に固定する。プルカーは地下トンネル側面の電気レールから電力供給を受け、目的場所まで航空機を牽引する。大型機~小型機まで対応できる。
- **効果** : 大幅な燃料節約、航空機同士の衝突防止、スポット運用の最適化による混雑回避、トーイング作業の省力化・省人化 など。
- **コスト** : 大規模空港でのATS導入費は約1.5億ドルとのこと
- **実績** : オクラホマ州アードモアで実証試験を実施中。



(出所: ATS HP <https://aircrafttowingsystems.com/>)

## ◆航空機の燃料消費量とタクシー時間を削減する ソフトウェア TFDM (FAA/NASA)

- **概要** : TFDM(Terminal Flight Data Manager)は、米国の次世代航空輸送システム (NextGen) に対応した空港地表面の管理と効率を向上させるソリューションである。
- **システム** :
  - ・TFDMは、航空管制官、航空会社、空港管理運営者の間で電子データを共有するものである。
  - ・これらの関係者は、地上での航空機に関する認識を共有し、電子データを交換することが出来る。
  - ・常に更新された交通量の画像と、より正確な予測モデリングツールにより、航空機地上走行の効率化を図ることが出来る。
- **効果** : 航空機地上走行の遅延や、スポットの混雑を最小に抑えることで、燃料消費量とCO2排出量を削減し、持続可能な航空システムを構築する。
- **実証実験** : 2016年~2021年の5年間、シャーロットダグラス空港でプログラムテストが行われ、年間916時間の遅延削減と27.5万ガロン以上の燃料削減、及びCO2排出量8トン/日の削減が確認された。
- **導入計画** : 2022年より全米27の大規模空港においてTFDMのフル機能が、また、22空港で限定的な機能の実装が開始されている。計画では、2029年までに89空港での実装が予定されている。

(出所: FAAニュース <https://aircrafttowingsystems.com/>)

# IV. 航空分野の脱炭素化(EV車への充電システム)

## ◆EV車充電用モバイルロボット「ZiGGY」

- **製造元**：米国の充電技術プロバイダーEV SAFE CHARGE.
- **概要**：世界初のモバイルEV充電ロボット。アプリで呼び出した移動式充電ロボットが、駐車場のあらゆる場所でEV車の充電を行う。
- **システム**：モバイルアプリや車載インフォテインシステムを介して予約すると、ロボットが駐車スペースに到着して待機。車が停車した後、プラグインして充電を行う。
- **特徴**：インタラクティブな広告プラットフォームを備えており、デジタル情報や広告メッセージを駐車場利用客に提供することで、広告収入により充電コストの一部を相殺することが出来る。
- **性能**：現状のレベル2の充電速度を年内にレベル3にする計画である。



(出所: EV SAFE CHARGE HP・<https://evsafecharge.com/>)

## ◆次世代EV充電ソリューションのデモセッション開催(ダラスフォートワース空港/DFW)

- **概要**：DFW空港のイノベーションチームとコンサルタントのSTVとが共同で、本年5月～8月に空港内の様々な駐車場で、以下のデモンストレーションを実施する。
  - ① バレットモバイルチャリングサービス (5月8週目)
  - ② ロボット充電サービス (6月5週目)
  - ③ マルチポート充電ハブ (6月19日の週)
  - ④ スポット予約&オンコールサービス (7月17日の週)
  - ⑤ ワイヤレス充電 (8月1日～)
- **特徴**：デモではそれぞれ異なるプロバイダーと次世代技術ソリューションに焦点を当てると共に、空港従業員や一般市民が参加できるようにする計画である。

(出所: DFW空港 ニュースルーム・<https://news.dfairport.com/>)

## ◇バレット (Valet)モバイルチャリングサービス(上記①)

- ChargePoint社のクラウド型ネットワークソリューション。タブレット等で選択した駐車場において、全ての車両の充電状況や充電ステーションの空きポートをリアルタイムで表示する。
- 駐車場でもより多くの車を充電・駐車できるようになり、利用客はシームレスな駐車体験を得ることが出来る。

(出所: ChargePoint HP・<https://www.chargepoint.com/>)

## IV. 航空分野の脱炭素化(バスへの充電システム)

### ◆EVランプバスのゲート型充電システム (スキポール空港/AMS)

- **概要** : AMSで公共交通を担うConnexxion社は200台を超えるEVバスを運行しているが、同社は充電スペシャリストのHeliox社と契約を結び、2018年に世界最大規模の充電施設をスキポール空港に設置した。
- **システム** : VDL社製のEVバス (Citeas e-bus) に設置されたパンタグラフを、門型フレーム上部に取り付けられたオポチュニティ (機会) 充電器に接続し、15分~25分で急速充電を行う。
- **仕様** : 4つの充電ポイントに23台の450KW充電器を配備。
- **メリット** : 最小面積での充電対応が可能。充電時の作業手間が大幅に軽減される。

(出所: Schiphol Group HP  
<https://www.schiphol.nl/en/schiphol-group/page/biggest-electric-bus-fleet/>)

### ◆EVシャトルバスのワイヤレス充電システム (カンザスシティ空港/MCI)

- **概要** : MCIでは3km離れたエコノミー駐車場~ターミナルビル間の送迎用として、中国BYD製のEVバス7台を導入。2023年初頭にバス停留所のカーブサイドに沿った舗装面にInductEV社製のワイヤレス充電システムを2台設置した。
- **仕様** : 300kWの地中誘電方式のワイヤレス充電器。
- **費用** : バス改造費\$59万、充電インフラ工事費\$22万 (米国エネルギー省の補助金あり)
- **メリット** :
  - ・一日中、自動で頻繁に充電を行うことによりバッテリーを小さくできる。
  - ・充電の度に充電施設までバスを移動する手間や充電時間のロスがなく、予備車両なしでスムーズな運用が可能となる。



(出所: InductEV HP <https://www.inductev.com/news-events/>)

# IV. 航空分野の脱炭素化(太陽光発電・風力発電システム)

## ◆垂直型太陽光発電 (フランクフルト空港/FRA)

➤ **概要** : FRA空港では、グリーン電力シェア拡大を目的として、滑走路18Wの南西端に、20枚の二重ガラスの太陽電池パネルを垂直に設置する8.4kWの太陽光発電システムを導入した。運営主体はフラポートAG、施設設置はOutarky社、フレームシステムはNest2Sun社である。

### ➤ **メリット** :

- ・縦置きとした主目的は生物多様性の保護(営農用地の確保)であるが、一日中太陽光をパネルに当てられることから、省スペースでも高い発電量が確保される。(朝夕に最大発電量となる)
- ・有害なグレアが発生する可能性が低い。
- ・降雪地ではパネルが雪の影響を受けない。

➤ **将来展開** : フラポートAGは2024年の1/4半期までに、滑走路18Wと平行に2.6km、約26haの敷地に最大13MWの同システムを展開する予定である。

➤ **課題** : 風荷重への対応(基礎強度確保によりコストアップとなる)



(出所: Fraport ESG Fact Book 2022)

## ◆垂直軸型風力発電機「the Orb」 (バーリントン空港/BTV)

➤ **製造元** : 米国のARC INDUSTRIES。

➤ **概要** : 「the Orb」は新型の風力発電機であり、2022年11月にBTV空港の駐車場屋上の南東端に高さ2.5m×幅1.8mの機器が設置された。

➤ **特徴** : 従来の垂直軸型発電機は発電性能が低く、騒音問題があった。また、プロペラ式風力発電機は制限表面に抵触しないような高さ制限を受け、電波障害が懸念されていた。「the Orb」は微風でも発電可能であり、従来型の問題や懸念をクリアする革新的な製品とされている。

➤ **性能** : 空港内のコンパクトなスペースに設置可能。定格出力3kW、最大出力3.8kW。メンテナンスはほぼ不要であり、寿命は25年以上とされている。

➤ **CO2削減効果** : 約9トン/年  
(同空港に設置されている  
太陽光パネル約25枚分相当)



(出所: Burlingtone Electric Department)

<https://www.burlingtonelectric.com/bed-announces-partnership-with-arc-industries-to-pioneer-new-leading-edge-wind-turbine-at-burlington-international-airport/>

# IV. 航空分野の脱炭素化(TULIPSの取組み)

## ◆ 「TULIPS(\*)」の取組み

▶ **概要**：欧州委員会は2021年11月に、ロイヤル・スキポール・グループが率いる29の当事者からなるコンソーシアム「TULIPS」に2,500万ユーロ（約37億円）の資金提供を決定した。この資金は、欧州グリーン・ディールの一環として、空港における低炭素モビリティへの移行を促進し、持続可能性を高めるためのイノベーションを開発するために提供されるものである。

▶ **目的**：このコンソーシアムは、航空業界における持続可能な技術の展開を加速させ、2030年までにゼロエミッションおよびゼロ廃棄の空港、2050年までにカーボンニュートラルな航空を目指し、大きく貢献することを目的としている。

▶ **対応**：スキポール（オランダ）、オスロ（ノルウェー）、トリノ（イタリア）、ラルナカ（キプロス）の4空港は、この協力関係から生まれる17の実証プロジェクトのための試験場となる予定である。TULIPSプロジェクトは2022年1月に開始され、2025年12月まで継続されることとなっている。このプロジェクトでは右図に示すような実証実験が行われる予定である。

	ワークパッケージ	課題	実証実験プロジェクトの内容
1	インターモーダルサービス	単一ソースのデータとサービスへの情報発信	①EV貨物輸送 ②公共交通機とグリーンな通勤手段への移行 ③国際的なグリーントラベルのためのデジタルソリューション
2	未来の航空機へのエネルギー供給	エネルギー需要予測を含むフィージビリティスタディ	④無人充電 ⑤モジュラー充電システム ⑥空港での水素フライト
3	スマートエネルギーハブ	貯蔵とPV直接充電を含む、エアサイドの電力輸送の改善	⑦完全統合された蓄熱システムを既存のホテルインフラに導入
4	ゼロミッション・エアサイドオペレーション		⑧水素燃料電池を搭載したGPU（H-GPU） ⑨水素燃料電池を用いた大型H2航空機牽引トラクター（A380、B777の移動可能）
5	SAFのインセンティブとロジスティック		⑩SAFの市場拡大 ⑪EUクリアリングハウスの設立 ⑫空港のSAF供給支援規模の拡大 ⑬大規模なSAFの供給
6	循環型空港	空港の循環型ベースラインと循環型管理システムの構築	⑭循環型ビルディングツールの適用 ⑮運用上の消費者/乗客の廃棄物の排除
7	空気と土地の緑化	横断的な側面に焦点を当てる	⑯エアサイドのUFP緩和策とモニタリング ⑰バイオ炭を用いた空港用地の炭素隔離（自然基盤の解決策を含む）

(\*) TULIPSとは、「Demonstrating lower polluting solutions for sustainable airports across Europe」の略である。

# IV. 航空分野の脱炭素化(新素材)

## ◆太陽光発電ガラス

### (ニューアーク・リバティ空港/EWR)

- ▶ **概要** : 新ターミナルビルAの出発エリアの接車フロントに、太陽光発電ガラスキャノピー(庇)を設置した。
- ▶ **製品の特長** :
  - ・太陽光発電ガラスはスペインに拠点を置く、オニクスソーラ社の技術である。EWR空港では面積約2,200㎡、540枚の結晶シリコン太陽光発電ガラスパネルが使われている。
  - ・このガラスは太陽電池を埋め込んだ2層の完全強化ガラスで構成され、耐久性と効率性に優れ、透明度は52%である。
  - ・総電力は、約167kWp、ガラス1枚あたりの電力は228W/台から381W/台。
  - ・FAAのグレアやグリントの要件を満たすことも確認済み。
- ▶ **効果** : キャノピーに設置したことにより、航空旅客を太陽光や天候から守りつつ、太陽から電気を生み出すことが可能。

(出所: onyx solar HP <https://onyxsolar.com/>)

## ◆ダイナミックガラス

### (ダラス・フォートワース空港/DFW)

- ▶ **概要** : DFW空港では搭乗エリアとレストランの一部の窓ガラスをダイナミックガラス(SMART GLASS)に交換し、従来型ガラスと比較調査を行った。(このガラスは2022年にモジュール構造にて新設されたHigh-Cゲートで使用されている。)
- ▶ **製品の特長** : ダイナミックガラスとは、建物に侵入する熱や日差しを自動的に調節する製品であり、環境状態やユーザー設定により、透明な状態から色が自動的に変化するものである。
- ▶ **比較結果**
  - ①断熱効果: 従来型のガラスに比べ、ダイナミックガラスを設置したゲートでは旅客の衣服や肌の表面温度が5度~6度低くなったことが確認された。



- ②旅客快適性: ダイナミックガラスを設置したゲートやレストランでは眩しさや暑さを感じなくなることにより、旅客の滞在時間が長くなり、その結果、レストランではアルコール類の販売増などにより、増収となったことが報告されている。



(出所: DFW Demonstration Experiments and Surveys)