

航空機の新しい視覚誘導システムの開発と評価

- 誘導路中心線灯の選択的滅制御 -

交通システム研究領域

豊福 芳典 青木 義郎

1. はじめに

先進型地上走行誘導管制システム(A-SMGCS)は、空港面において地上走行の必要な安全水準を確保しつつ、低視程を含む一定レベルの気象条件下で所要の地上走行効率を維持する目的で、航空機等の管制を行うために「監視機能」、「経路設定機能」、「誘導機能」を提供するシステムである。

A-SMGCS については、国際民間航空機関(ICAO)を中心に先進各国において研究・開発が行われ、機能の一部導入を図っている国もある。また、ICAO においては、A-SMGCS の運用要件や性能要件を規定する「A-SMGCS マニュアル」が2004年に正式に発行されたところである。

このような状況において、我が国においても航空需要の増大に対応した地上走行の安全性及び効率性の確保は重要な課題であることから、国際動向に遅れることなくA-SMGCSを開発、導入していく必要があると考えられる。

本研究は、A-SMGCS の主要機能のうち「誘導機能」に該当するシステムとして、地上走行する航空機を視覚的に誘導する灯火の制御システム(以下、「灯火制御システム」という)とデジタルデータ出力方式の空港面探知レーダー(以下、単にASDE)という)とを接続し、ASDEからのターゲット位置情報に基づいた灯火制御を行うシステム構築に向けた調査、研究等を行うことを目的として、国土交通省航空局から独立行政法人 交通安全環境研究所へ委託されたものである。

その内容として、仙台空港に灯火制御システムのプロトタイプを設置するとともに、これをASDEと接続して、検証試験環境を構築した。さらに、この試験環境を用いて、灯火制御システムのASDEとの接続動作に関する評価試験を行った。

このように、レーダー等の空港面監視システムと連

接して、そのデータに基づきリアルタイムで灯火の点/消灯を制御するシステムは我が国では最初の試みであり、このようなシステムの動作を実機、実環境で確認するとともに、問題点を抽出・把握することが第一の目的である。このため、仙台空港に構築した試験環境は、最も単純な形状とした。

今回、接続の対象とした監視システムは、仙台空港内に(独)電子航法研究所(以下、「電子研」という)の施設として既設の実験用ASDEである。

2. 試験システム等

2.1. 試験環境の概要

灯火制御システムを仙台空港に展開した試験環境全体図を図1に示す。

制御対象灯火は、誘導路中心線灯(以下、「TCLL」ということがある)の代わりに誘導路灯を用い、試験区間の片側誘導路灯26灯(うち25灯をTCLLに、1灯を停止線灯に見立てた)である。

ASDEは、空港の制限区域に隣接した電子研岩沼分室敷地内に既設のものを利用した。

システム構成ブロック図は、図1の左下に記載したとおりであり、各構成機器の概要を次ぎに述べる。

2.2. 設置機器の概要

(1) ASDE_I/F 装置・・・ASDE と灯火制御装置のインターフェースであり、ASDE からターゲット位置、速度等の情報を入力し灯火制御装置へ出力する。電子研建屋内設置。

(2) 灯火制御装置・・・ASDE I/F 装置からの航空機位置情報等に基づき点灯/消灯すべき灯火を決定し、灯火制御コントローラに制御指令を出力する。また、灯火の点/消灯状態、航空機位置を空港マップ上に表示し、各構成機器の異常状態等の情報を表示する「監

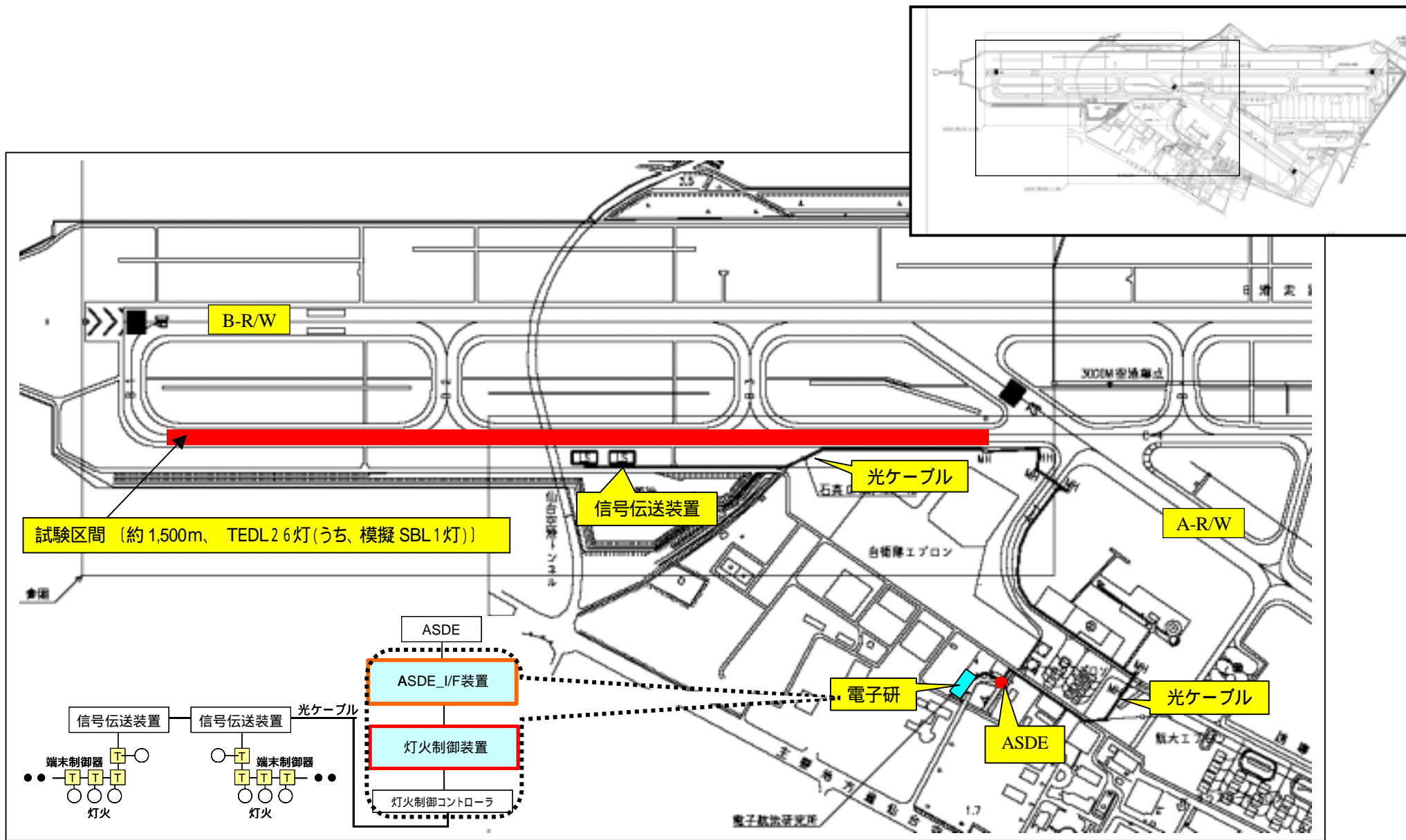


図1 試験環境概要

視表示装置」が付属する。電子研建屋内設置。

(3) 灯火制御コントローラ・・灯火制御装置からの制御指令等に基づき、具体的な端末制御器の駆動用制御信号を生成して、信号伝送装置へ出力する。また、端末制御器からの機器状態監視情報等を灯火制御装置に返す。電子研建屋内設置。

(4) 信号伝送装置・・灯火制御コントローラと端末制御器の間に位置し、両者の通信を中継する。試験区間近傍のフィールド設置。

(5) 端末制御器・・各制御対象誘導路灯用のハンドホール内設置。灯火と1対1に接続され、灯火制御コントローラからの制御信号を受けて、その灯火の点灯/消灯を行う。また、接続された灯火の点/消灯の状態や異常状態を監視する。

3. 評価試験方法等

TCLLの選択的減速制御による地上走行の視覚誘導は、次のように行うものとする。なお、実際の試験においては、地上走行ターゲットとして航空機の代わりにアルミコンテナトラックを使用した。

ASDEによって得られた航空機の現在位置と走行方向に基づき、航空機前方の走行ルート上の一定範囲(前方灯火点灯範囲)の灯火を点灯させ、航空機が通り過ぎた後方灯火は消灯させる。後続機が続く場合

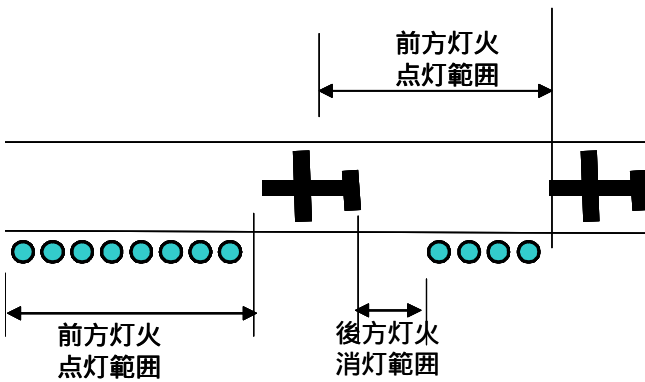


図2 前方/後方灯火の制御概念図

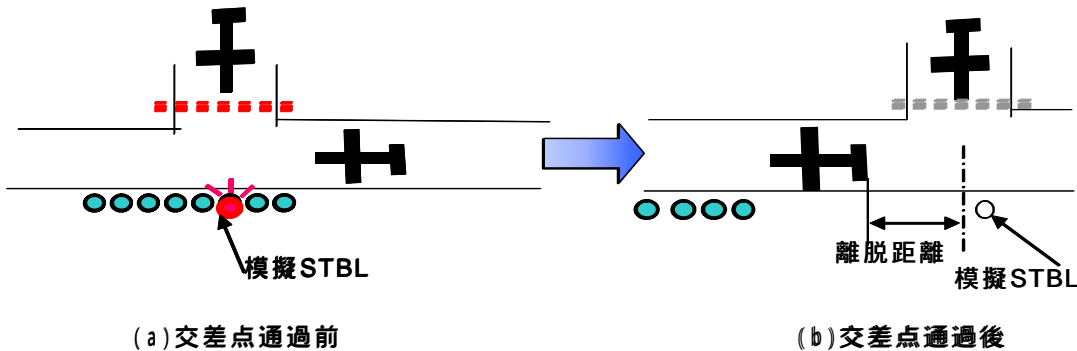


図3 停止線灯制御概念図

は、先行機の直後の一定範囲(後方灯火消灯範囲)は、追突防止等の観点から、後続機の前方灯火点灯範囲に入っても点灯させない(図2参照)。

評価試験は、供試車両台数、走行速度、走行方向、前方点灯範囲、後方消灯範囲等のパラメータについて、様々な条件の組み合わせで試験区間走行を行い、上述の所定の灯火制御が可能かどうかを確認した。

さらに、交差点での灯火制御として、次のような制御を行うものとする。

試験区間とそれに直交する取付誘導路との交差点において、試験区間を走行する優先通過機が交差点を通過するまでは、取付誘導路側から交差点に接近する航空機に対しては停止線灯(以下、「STBL」ということがある)が赤色点灯して交差点への進入を禁止する。優先通過機が交差点を通過し、交差点中心から一定の距離(離脱距離)に達した時点で取付誘導路側のSTBLを消灯して交差点への進入を許可する制御を行う(図3参照)。なお、取付誘導路側のSTBLには設置されておらず、誘導路灯の1灯を模擬STBLとして代用した。

評価試験は、試験区間を直進走行する供試車両を様々な条件で交差点通過させ、TCLLの前方灯火点灯制御とSTBLの所定の制御が、同時・独立に行えるかどうかを確認した。

この他、システム応答時間データを収集した。

4. 評価試験結果

4.1. 前/後方灯火制御評価

試験で採取したログデータから、時間推移に対するターゲットの位置座標(試験区間内の位置)及びそれに伴う各灯火の点灯/消灯状態の変化をグラフ表示した例を図4に示す。

図4において、縦軸は試験区間上の位置(X座標値)

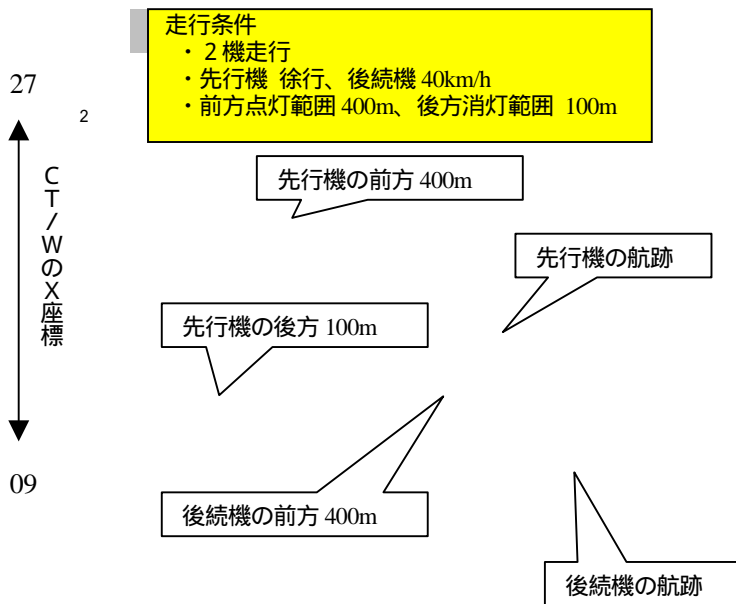


図4 灯火制御結果（パターン5 - 1）

横軸は経過時間を示す。図中、印のプロット点はグラフ上端に表示された該当する経過時間に点灯した灯火を示し、印のプロット点は同じく該当する経過時間に消灯した灯火を示す。点灯状態のまま（又は、消灯状態のまま）で状態変化のない灯火は図中には表現されていない。

図4では、先行機と後続機が十分離れている間は後続機の400m前方の地点に位置する灯火が後続機の移動に伴い1灯ずつ追加点灯していき、後続機の400m前方が先行機の100m後方に追いついてから以降は、先行機の後方100mまでの地点の後続機の前点灯が点灯していく様子が表現されている。また、先行機や後続機が通り過ぎた灯火を1灯ずつ消灯している様子も分かる。

このようにして、灯火点/消灯状態の単なる目視観測でなく、具体的に前方灯火点灯制御及び後方灯火消灯制御が適切に行われていることが確認できる。他の試験パターンについても同様に、灯火制御がほぼ想定どおりに動作することを確認した。

4.2. 前・後方灯火制御評価における特異事例

今回の試験では、試験区間途中で後続車が先行車に追いついたときは、その速度を維持して追い抜くようにした。このような条件の場合において、次のような現象が発生した事例があった。

4.2.1. ターゲットのロスト 後続車が先行車を追い抜くときに両車両がASDEの分解能を超えて接近したため、ASDEがターゲットを2個と識別できずに一方のターゲットをロストして、その位置データ等が一時的（約10秒間）に灯火制御装置に入力されなくなった。

灯火制御装置は、ターゲット情報が途中から来なくなった時点でそれまでの点灯灯列を全て消灯制御した。追い抜いた後、2台の距離がある程度離れてからは、再び2個のターゲットが検知されるようになり、それぞれに対する灯火制御が再開した。

万一、監視システムがターゲットを一瞬ロストした場合、又はターゲット捕捉再開後にターゲットの同一性の識別ができなくなった場合に、灯火制御としてはどうすべきかを、フェールセーフ処理の一環として検討する必要があると考えられる。

4.2.2.ヘディングの揺れ 今回の灯火制御システムでは、経路設定機能が付加されていないため、灯火制御のためのターゲットの走行方向の判断は、ASDEからの送信情報に含まれるヘディング(ターゲットの向き)を利用して行っている。

ヘディング情報(ターゲットの向き)もASDEからの送信データに含まれる。しかし、ターゲットが停止している場合や速度が非常に低い場合は、ヘディングが一定の方向を指し示さず不規則変動して、非常に不安定な状態になる。

先行車が10km/h程度で徐行している試験条件の場合に、ヘディングが一定の方向を指し示さず不規則変動して非常に不安定な状態になり、走行方向の識別ができなくなって、その徐行車両に対する前方点灯灯列を一齐に消灯制御した事例があった。

実システムでも停止又は極く低速状態のターゲットは普通にあり得る。したがって、灯火制御システムにおけるターゲットの走行方向識別方法について見直す必要がある。

4.3.停止線灯消灯制御評価

交差点における灯火制御に関して、ログデータから得られたターゲットの位置座標及びそれに伴う模擬STBLの消灯タイミング等の関係を図5(試験パターン7-1)に示す。離脱距離設定値(交差点中心から20m)に相当する縦軸に水平線を追加記入した。

この図から、ターゲットが離脱距離に達した時点で模擬STBLが消灯していることが分かる。

他の試験パターンでもほぼ同様であり、所定のTCLL制御及びSTBL制御が可能であることを確認した。

4.4.灯火制御システム応答性データの収集

試験のログデータより、灯火制御システムの応答性として、ASDEの位置情報等が灯火制御装置へ入力されてから、末端の端末制御器を動作させ、その結果を知らせるアンサーバックを灯火制御装置が受け取るまでの所要時間(以下、「往復応答時間」ということがある。図6参照)を収集した。

その代表例として、各灯器への制御指令の往復応答時間を図7に示す。

時 間

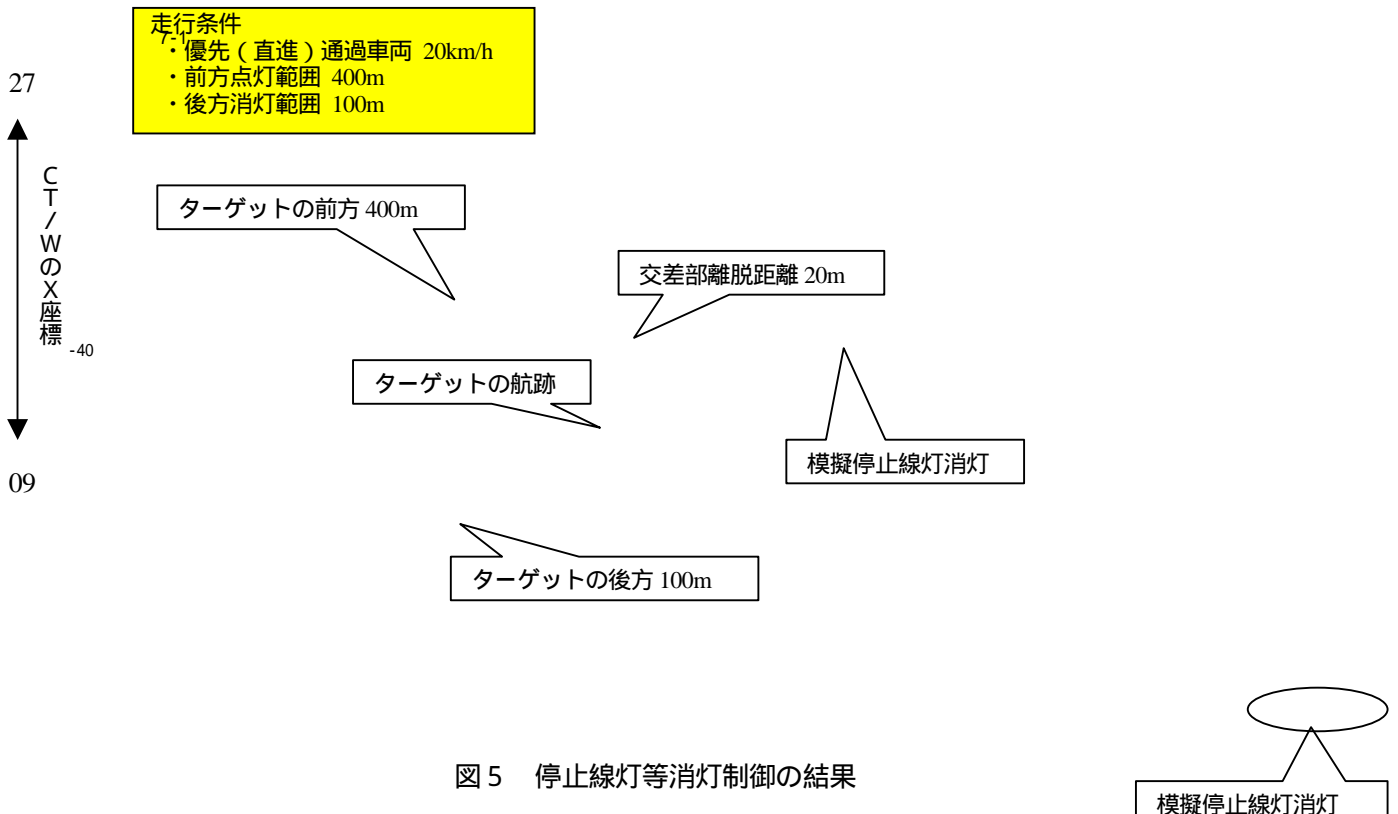
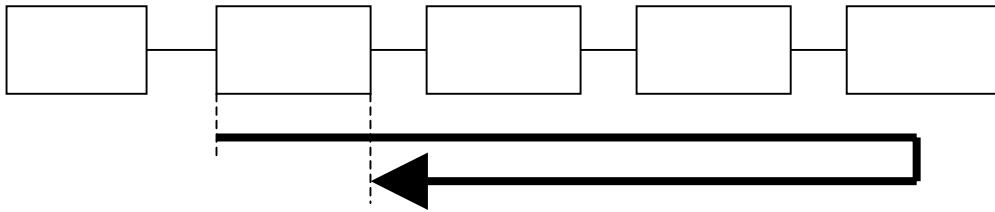


図5 停止線灯等消灯制御の結果



応答性測定区間

適化しようとする場合や停止線灯の不正通過に対する警報機能等を検討する場合には、監視システムの精度、航空機の数等も合わせ勘案しつつ、応答性について別途検討する必要がある。

6. まとめ

ASDE との接続状態において、そのターゲット位置情報等を基に、前方灯火点灯制御、後方灯火消灯制御、停止線灯消灯制御が、特殊な条件の場合を除き可能であることを実機、実環境において確認した。何らかの理由で、監視システムからの航空機情報が灯火制御システムへ時的に入力されなくなった場合の灯火制御システムの対応は、空港運用面も配慮しつつ、フェールセーフ処理の一環として検討する必要がある。

監視システムからのヘディング情報の活用のしかたを再検討する必要がある。TCLL の点灯方向の決定は、今後の経路設定機能の付加等に合わせて、その経路情報によることとする。

灯火制御システムの応答性データが得られた。往復応答時間は最大 2 秒程度、平均的に 1 秒程度であった(片道応答時間は、最大 1 秒程度と推測される)。

これは ICAO の A-SMGCS MANUAL の TCLL による誘導に関する応答性要件を満足している。

灯火制御システムの応答性は、制御対象ターゲットの増加と共にばらつきが拡大する傾向があり、この特性について今後検討する必要がある。

停止線灯制御に関する応答性については、走行効率を追求する場合や警報機能を検討する場合などの特殊なケースごとに、システム応答性の短縮、通過検知センサーの併用、応答遅れの存在を前提としたプログラムなどを個別に検討する必要があると考えられる。

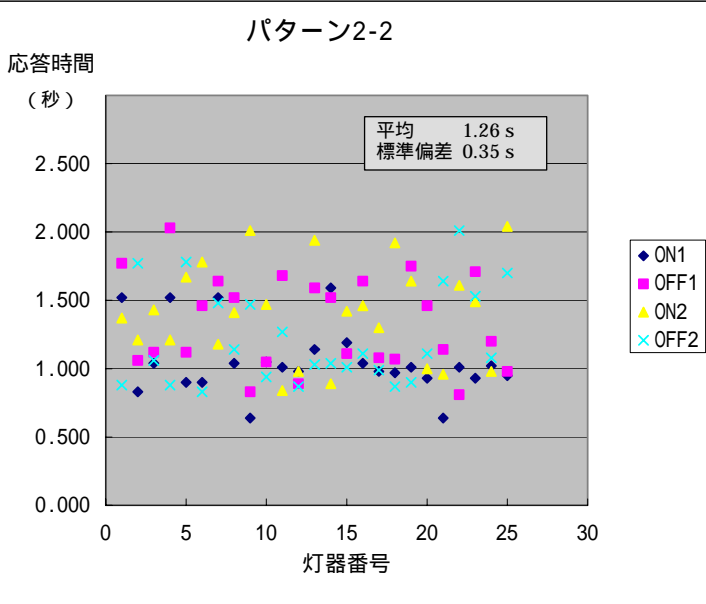


図7 往復応答時間

(走行条件 : 2機走行 速度 60km/h、
前方点灯範囲 400m、後方消灯範囲 100m)

他の試験パターンの場合もほぼ同様で、いずれの走行条件の場合も往復応答時間は、最大約 2 秒、平均値はほぼ 1 秒余である。ただし、応答時間のバラツキは、対象ターゲットが 1 台の場合に比べ、2 台の場合の方が多少拡大する傾向も伺えたことから、今後、制御対象ターゲット数と応答性の関係についての検討が必要である。

ICAO の「A-SMGCS MANUAL First Edition-2004」(Doc9830 AN1452) には、誘導機能の応答性について、3.4.3 項「誘導」において、『～、中心線灯で航空機等を誘導しているとき、2 秒が、点灯 / 消灯指令が発されてから実際に作動するまでの最大値とすべきである。』と規定されている。

今回のシステムでは、先に見たように灯火制御システムの往復応答時間で最大約 2 秒である(片道応答時間は最大 1 sec 程度と推定される) から、この A-SMGCS MANUAL の要件は十分満足していると考えられる。

ただし、上記規定は、TCLL の点灯制御によって航空機等を誘導する場合の TCLL 制御に対する応答性要件である。停止線灯制御に関しては、たとえば、走行効率にも配慮して停止線灯の消灯タイミングを最