

葦の水辺が空港都市に変わる日 - 最終着陸の自動化を目指して -

STORY OF AIRFRONT CITY - AIMING AT AUTOMATIC FINAL APPROACH -

谷口友孝*

Tomotaka TANIGUCHI

One technology which has altered the countryside around Shanghai into a modern airport city may be aeronautical telecommunications. The airport has been modernized in order to secure safe air transportation and to increase the convenience for passengers. One technology to realize safe landing is the instrument landing system, or so-called ILS. The system enables accurate landing even during poor visibility or adverse weather. This paper describes the story of Shanghai New International Airport in terms of both the latest navigational aid technology and aeronautical telecommunications.

Key Words : CAT-III ILS, SMGCS, CNS/ATM, GNSS

1. 背景

1992年12月、中国政府は上海浦東国際空港を建設すべく、そのフェージビリティ調査の技術協力を日本政府に要請してきた。これに応え日本政府は1994年6月から調査団を派遣し、約1年3ヶ月をかけて調査を完了させ、1995年8月、中国政府に計画案を提出した。

この提言を受け、同年8月に中国政府は計画を事業化するために航行援助施設、土木、給油、消防・救難の各分野における詳細設計の実施を日本政府に要請し、我が国政府は1996年5月から設計調査団を派遣して1997年9月に設計を完了させた。表-1に浦東国際空港の概要を示す。

その後、空港が開港した1999年10月に、空港の運営機関

である上海新空港公団から当社が上海空港の高カテゴリー化(計器着陸誘導の高精度化)に関する検討業務を受注し、CAT-III(精密着陸カテゴリーIII)運用に関する評価を実施して2000年6月に最終報告書を提出した。

本稿では、1994年に計画が始まった上海新空港の様子を政府調査として紹介するものであるが、特にその中で筆者が担当した次世代の航空航法システムを前提とした航空保安施設の計画、地上走行誘導管制システムを目指した航空灯火施設の設計、そして、高カテゴリー化に対する計器着陸装置の評価について述べる。

写真-1は開港から半年後の浦東国際空港の全景である。

表-1 浦東国際空港の概要

空港の位置	E121°47'29.8" N31°08'38.4"
滑走路長	長さ4000m、幅60m一本
カテゴリー	CAT-I
航空保安施設	(通信) AMS、AFTN、ATIS (航法) DVOR/DME、ILS、NDB、AFL (監視) ASR、SSR



写真-1 上海浦東国際空港全景

* 電力事業本部 プラント事業部

2. 技術的問題点

1994年に開始した一連の調査は2000年の高カテゴリー化に対する計器着陸装置の評価で一応終了した。そして、最終着陸の自動化が評価後の2001年10月から始まる予定である。これら計画、設計、評価の各段階においては次に示す技術的問題が生じた。

(1) 計画段階、1994 - 1995年

上海空港は将来的に滑走路を4本備える巨大空港として計画され、分刻みで降り立つ航空機を着陸させる能力がある。これは反面、着陸した航空機および離陸誘導されている航空機の地上での滞留をもたらすので、計画段階での技術的な問題は空港面での航空機の滞留を解決することであった。

航空機の空港面での滞留は、空港のカテゴリー（計器着陸誘導の精度）に依存する。計画当時、空中の航空機を高い精度の電波で誘導し、地上に降り立たせることは技術的に可能になっていたが、降り立った航空機を駐機スポットまで自動誘導するシステムの採用には至っていなかった。また、上海浦東での気象条件は必ずしも航空機の運航にとって良好ではなく、低視程時での定時性を確保するためには精度の高い精密着陸カテゴリーの計器着陸誘導装置（ILS）を導入する必要があるという結論に至った。高カテゴリーになればそれだけ空港面での航空機の滞留をもたらすことになる。

なお、高カテゴリーのILSは当時日本でも熊本、釧路空港など気象条件が良くない空港でその設置例がある程度であった。現在では成田国際空港も高カテゴリー化されている。

(2) 設計段階1996 - 1997年

航空機の滞留問題の解決方法として地上走行誘導管制システム（SMGCS）の導入を試みた。SMGCSシステムといっても、単純なシステムから複雑なシステムまで様々な形態があるため、上海浦東国際空港を特徴づけるシステム構成要素（コンポーネント）を何にすればよいかという点がひとつの課題となった。さらに、コスト面で中国側で用意している予算と日本側が積算した費用との間に大きな隔たりが生じたため、これを解決する必要があった。

(3) 評価段階2000年

航空機が着陸する際には表-2に示す5つのケースがある。

1999年10月に上海浦東国際空港が開港し、精密着陸カテゴリーの運用の可能性に関する調査を2000年の1月から

表-2 着陸のカテゴリー

	カテゴリー	内容
1	非計器着陸	目視のみでの進入を前提とした着陸
2	非精密着陸	目視以外に少なくともひとつの無線航行援助施設がある場合の着陸
3	精密着陸カテゴリー	計器着陸装置（ILS）で高度60mまでの電波誘導が可能な着陸
4	精密着陸カテゴリー	計器着陸装置（ILS）で高度30mまでの電波誘導が可能な着陸
5	精密着陸カテゴリー	計器着陸装置（ILS）で接地までの誘導が可能な着陸

6月にかけて実施した。いわゆる、既設ILSが精密着陸カテゴリーの運用を行うに必要な機能ならびに性能要件を備えているかどうかの評価であるが、具体的な評価の方法が課題となった。

中国の規定で、空港の開港後1年間はカテゴリーで運用しながらその評価をし、一年が過ぎた時点でカテゴリーの運用を開始する。そして、さらに一年の評価期間を経てカテゴリーの運用に入ることになる。したがって、2001年の10月から高カテゴリー化が可能になる見込みであった。

以下に各段階での問題点の解決策について述べる。

3. 技術的問題点の解決策および経過

(1) 空港表面での航空機滞留

航空機を地上で効率的に誘導するための手段のひとつとして、現在では空港面探知レーダー（ASDE）が用いられている。これは地上管制官の補助として使われる程度であって、航空機の地上誘導を自動的に行うシステムではない。自動誘導とは、誘導路に埋め込まれた灯器の点滅によりパイロットを所定の位置まで案内するシステムがイメージできる。上海浦東国際空港のような大規模空港になると、地上を輻そうして走行する多数の航空機をマニュアルによって整然とコントロールすることは、他のサービス車輛の移動もある空港表面においては相当難しいと言える。

この滞留問題の解決にはSMGCSシステムが有効である。本システムは、航空機の地上の位置を特定することがキーポイントとなる。空港内にマイクロ波センサーを置いたり将来的には衛星を使うなどしてシステムの構築が可能であるが現在では信頼性などの点でなお課題が多い。

そのような現状を考慮し、計画段階の提言としては空港

面探知レーダーを含めた航空灯火の全種類を設置することを勧めた。また、その補助システムとして地上管制官の負荷を軽減させるために、着陸した航空機を駐機場の所定の場所に最終誘導する所謂スポット管理の自動化を図るなどの提言を行った。

(2) 地上走行誘導管制システムの構成

SMGCシステムは空港面探知レーダー、航空灯火およびセンサー等を組み合わせることにより、航空機の空港面における地上走行を誘導するシステムとして機能する。誘導システムの基本コンセプトは 断芯検出機能の確保、 停止線灯の自動化、 駐機位置指示灯の設置、 ダブルエンド方式電源の採用、とした。

断芯検出機能の確保

航空灯火の各灯器の故障であるいわゆる球切れには、切れた電球を夜間に保守員が探して電球を交換するという初歩的方法が最近まで用いられていた。これは断芯検出システムを採用することで自動化が可能である。そのためには各灯器に断芯検出装置を埋め込み、電球が切れたと同時にその場所を中央監視室に表示する機能とした。

断芯した灯火の位置を知るためにはそれぞれの灯火を識別するためのアドレスが必要で、そのアドレスの設定にはいくつかの方法が考えられる。また、断芯のアドレスを中央監視室まで伝送する方式に関しても、新たに信号線を設ける方法と、電源ケーブルに信号を重畳させる電力線搬送方式がある。既設航空灯火の断芯機能を付加する場合など経済性を考慮して電力線搬送方式を採用した。

本断芯機能をSMGCシステムのコンポーネントとして採用した理由は、国際規格に『進入灯の内側450m、滑走路中心線灯、滑走路末端灯、滑走路灯は、高カテゴリー運用中に95%以上、接地帯灯は90%以上の灯火がサービス可能でなければならない』と規定していることから、断芯検出の自動化を取り入れた。

停止線灯の自動化

日本の航空法施行規則によれば、停止線灯は『より進んだ先進型SMGCシステムのサブシステム』として位置づけられていることから、コンポーネントのひとつとして設計した¹⁾。

停止線灯は、離陸しようとする航空機が誘導路から滑走路に進入する場合に一旦停止する場所に設置するが、離発着の頻繁な空港での誤進入を避けるために、進入不可の場合は赤を点灯させ、進入可の場合には緑を点灯させている。この緑と赤の切替えを管制官に頼ることなく、自動化したのが本設計である。このため、停止線の近傍にマイクロ波センサーを設置し、航空機の動きを監視出来るようにした。

駐機位置指示灯の設置

航空機が駐機する最終段階では、マーシャラーという人的な誘導が用いられてきたが、昨今日本ではこの自動化が図られている。SMGCシステムの基本的コンセプトは、着陸機の最終駐機までの自動誘導であるから駐機の自動化はSMGCシステムの初期のコンポーネントとしては不可欠と考え採用した。

航空機と駐機位置までの距離を求める方式として、カメラのような光学的センサーを用いる場合、マイクロ波やレーザーを利用する場合などあるが、理論的に信頼性が高いと判断させるレーザー光線を航空機の前面に照射して、その反射波を画像処理する方式を採用した。

ダブルエンド方式電源の採用

SMGCシステムを前提とした航空灯火には高い信頼性が求められる。これは電源系統を灯器の負荷側まで二重化することで設計上の対応をした。

上海浦東空港の高圧電源は二ヶ所の変電所から2系統で受電しており、一応の受電品質は確保できる。しかしながら、瞬停などの対応として無停電電源装置(UPS)の導入が必要であった。中国側はUPSの導入に対して、中国では初めての装置ゆえメンテナンス上の理由で当初難色を示したが、将来的な導入を前提とした設計として認められた。

(3) コストダウンのための方策

上述の基本コンセプトに基づいて日本側が積算した費用は130億円であった。一方、中国側の予算は25億円であった。この差を縮めるために以下の解決策を見出した。

中国製灯器の採用

中国製灯器を極力使用することで費用の低減を図った。

因みに、滑走路中心線灯を日本製と中国製を比較した場合にその価格は中国製が30分の1であった。

断芯検出装置の設置数の限定

断芯検出装置の数を減らすことによって費用の低減を図った。つまり、滑走路灯や誘導路灯など灯器の種類によって断芯検出の必要度が異なることから、断芯検出装置の設置優先度の高い進入灯、滑走路中心線灯、滑走路灯などをその対象とした。

電源系統の工期の分離

電源系統の工期を2フェーズに分け、費用の低減を図った。第1フェーズではUPS無しでシングル発電機システム、第2フェーズでUPSを設置し発電機追加したダブル発電機システムとした。

灯器の防水性の確保

中国製品を採用することで費用の低減は図れたが、信

頼性の低下という新たな課題が発生した。中国製品による信頼性の低下とは特に防水性であった。この問題については、変圧器および接続材の防水性という点で、断芯信号を伝送する部分である1次側ケーブルの絶縁変圧器間には工場ではプラグ・レセップを両端に取り付け、モールド化した仕様とした。そして、絶縁変圧器のプラグ・レセップに接続し、自己融着テープ、ビジールテープで接続部を処理することによって防水性が得られる設計とした。

(4) カテゴリー 運用の可能性の評価

上海浦東国際空港は1999年10月に開港した空港である。既に運用中の空港であるので高カテゴリー運用の可能性を評価するためには以下の手法を用いて検討を行った。

完全性を評価する手段として電磁環境シミュレーションを用いた。

連続性の評価のためにMTBOの算出式を用いた。

完全性とは、最終着陸進入中の航空機が疑似信号を受けられる可能性の程度をいい、連続性とは、進入の最終段階にある航空機が誘導信号を失う可能性の程度のことである²⁾。

(完全性の評価)

電磁環境の概略傾向を知るために先ず空港内の全ての建物を垂直金属平板としてモデル化して入力したところ、電波の精度が規格値を超える(規定の精度が得られない)結果となった。シミュレーションは、アプローチ・フライト(アングル 3°)、レベル・フライト(2000フィート)、オービット・フライト(+35° ~ -35°)の3種類で行ったが図-1から図-3に示すようにレベル・フライト以外は規格値を超えていた。

次に原因物件を特定するために個別に障害物として入力したところ、ターミナルビルによる電波反射の影響が大きかった。そこで、ターミナルビルを実際に即した形状でモデル化したシミュレーションを行った結果、図-4に示すように滑走路上で4.9マイクロ・アンペア(規格値は5マイクロ・アンペア)の偏移が確認された。これによって、完全性は理論上満たされたとと言える。ただし、シミュレーションと実際の飛行状況が作り出す結果とは多少の違いがあることから、完全性に対する最終結論は将来のカテゴリーIII運用開始前に行われるフライトチェックに依るものとした。

(連続性の評価)

MTBO(平均障害間隔時間)は、隣接する停波間の動作時間の累計を各種要因による停波回数で割った平均値であり、次の式で表わされる。

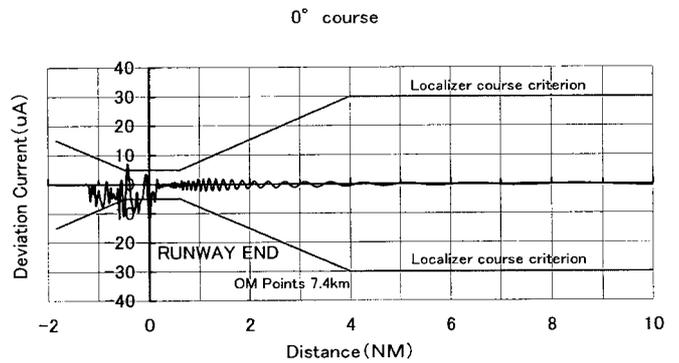


図-1 アプローチ・フライト結果(参考文献³⁾より引用)

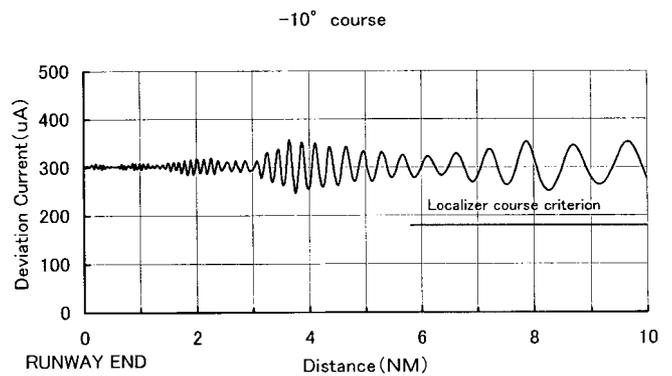


図-2 レベル・フライト結果(参考文献³⁾より引用)

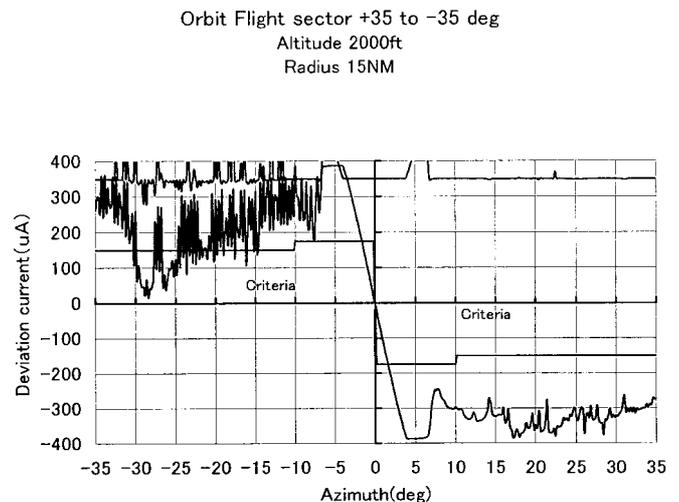


図-3 オービット・フライト結果(参考文献³⁾より引用)

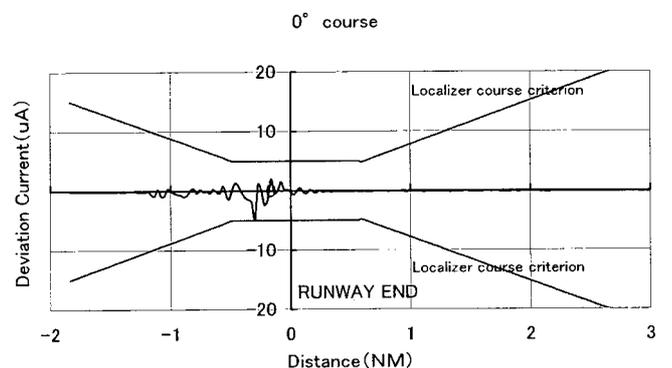


図-4 アプローチ・フライト結果(参考文献³⁾より引用)

$$MTBO = (t_i)(r_{sys} + r_{snw} + r_{ligh} + r_{bird} + r_{etc})$$

ただし、

t_i : 隣接する停波間の動作時間

r_{sys} : システム本体の停波回数

r_{snw} : 雪による停波回数

r_{ligh} : 雷による停波回数

r_{bird} : 鳥による停波回数

r_{etc} : その他の要因による停波回数

雪、雷、鳥等の外的要因による障害はアンテナの故障に極めて類似した現象になるのでモニターは誤警報を発生し、システムの信頼性を低下させる。したがって、上式の分母を限りなくゼロに近づけることができればMTBOが大幅に改善され、システムの精度が向上する。

この目的のため、開港後の障害記録を分析する必要があった。しかし、中国側から提供されたデータは必ずしも十分ではなかったため完全な解析は出来なかった。したがって、連続性に関しては評価方法の提言に止めた。ただし、連続性の評価は航空機を安全に着陸させられるかどうかの重要な指標となるものなので、より長期間のデータによってコンサルタントの助言の下で評価を行う必要のあることを付け加えた³⁾。

4. 将来の展望

上海浦東国際空港をアジアのハブ空港として機能させるために、1994年の計画当初から次世代の航空航法システムという観点で幾つかの提案を行ってきた。2000年6月時点で、ILSの高カテゴリー化という点で以下の展開が可能である。

- 1) 高カテゴリー化対応に向けてILS装置自体を改修する。
- 2) 航空灯火システムについては当初の設計を再提案する。
- 3) 高カテゴリー運用のための新しいシステムおよびこれを運用するための体制を提案する。

空港表面で航空機を安全に誘導するSMGCSはATM(航空交通管理)の発展とともにGNSS(全地球的航法衛星システム)と組み合わせられた統合システムに進化していくものと予想される。これらの実現のためにはコンサルタントによるさらなる技術的支援が必要と考える。

5. 後記

未だ空港の建造物が何もない1994年当時、揚子江の河口は水鳥が羽を休め、葦の生い茂る水辺であった。近くの水路には食用のアヒルが養殖されていた。そののどかな光景を思い出すと、5年後にアジアのハブ空港にも匹敵するエアフロントが出現するとは信じがたいことでもあった。

現在の上海浦東国際空港はその周辺に緑が彩られ、空港に通ずる道路の両側にはレンゲが美しく手入れされていた。夜間に訪れると、高速道路の照明がどこまでも続く、まるで未来都市を思わせる、水辺に佇むエアフロントであった。そして、水鳥は沖の小島に居を移してジャンボ機の飛来を眺めるようになった。この変化を実際に見て、技術の進歩が人類の発展の道を築くことをあらためて実感した次第である。



写真 - 2 空港建設前の水辺にて

写真 - 2 は1994年当時に空港建設予定地の水辺を背景に調査団と中国側カウンターパートを撮影したものである。

参考文献

- 1) Aerodromes, Annex 14, ICAO, pp.55-89, July 1999
- 2) Aeronautical Telecommunications, Annex 10, ICAO, pp.99-130, July 1996
- 3) Basic Design Study on High Category Operation System, Shanghai Pudong International Airport, Final Report Nippon Koei, pp.52-86, June 2000