

特 集 論 文

シンガポール・チャンギ国際空港向け
APM システム “クリスタルムーバー”Automated People Mover "Crystal Mover"
for Singapore Changi International Airport柏 誠^{*1}

Makoto Kashiwa

持 留 裕 之^{*2}

Hiroyuki Mochidome

山 本 新^{*3}

Arata Yamamoto

当社はシンガポール民間航空庁（CAAS）チャンギ国際空港向けに新設する第3ターミナルを核としたターミナル間を結ぶ移動手段として“Crystal Mover（クリスタルムーバー）”を受注した。新しく導入する新交通システムは、斬新で未来的な車両デザイン、既存システムの構造物を有効活用し、新規軌道と接続させる設計、及び既存から新システムへの継ぎ目無いサービスの要望を実現するものとして第1から第3までのすべてのターミナルを結ぶシステムを提供している。本報では新しいクリスタルムーバーとその導入過程を紹介する。

1. は じ め に

近年、東南アジア、東アジア地区ではいくつかの新規空港建設、もしくは既存空港の拡張が行われ、バンコク新空港、中部（名古屋）国際空港などがその例に挙げられる。経済発展によりアジアのみならずヨーロッパ、オセアニア、北米との結びつきも強まり、より快適に便利に乗り継ぐハブ空港として、さらにはアジア圏内の往来が活発になり、これらが無駄無く結ぶ域内の拠点として機能を拡張、もしくは新設し発展を続けている。

シンガポール民間航空庁（CAAS）は第3ターミナル建設によってその空港機能を拡張することを目指し、2002年、各ターミナル間を連絡する交通システムとして当社“クリスタルムーバー”を選定した。シンガポール民間航空庁（CAAS）はその採用にあたって“斬新な車両デザイン”、“1990年に開業し運行し

ていた既存システム用構造物の積極的流用”、“新システムへの速やかな移行”を実現することを要求しており、当社はその実現に向けて活動してきている。特に既存から新システムへの移行は、はじめに既存システムの一部を改造して先行営業を行い、その後第3ターミナル開業に向けて全線へ拡張する方針で工事が進められており、当社としても初めての試みとなる。既に2006年3月16日に先行開業部分を引き渡し、営業運転に入っており、現在は2007年6月の全体システムへの拡張、引渡しの準備として試運転を行っている。

2. APM システムの概要

シンガポール・チャンギ国際空港 APM システムは単線換算 6 400 m で構成され、この中には既存システムの改造区間約 1 300 m が含まれている。システム構成は PMS/North（総延長 4 100 m）及び PMS/South（総延長 2 300 m）と呼ばれる 2 つの独立した軌道グルー

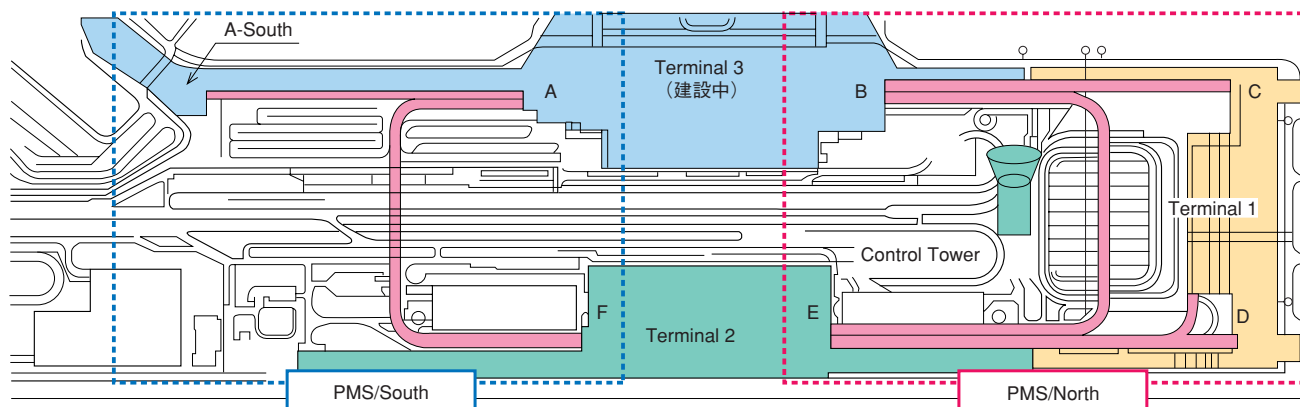


図 1 空港全体図

^{*1} プラント交通システム事業センター交通システム・機械技術部交通システム設計課主席

^{*2} プラント交通システム事業センター交通システム・機械技術部次長

^{*3} プラント交通システム事業センター交通システム・機械技術部信号設計課

プに分かれており、それぞれ独立した検修設備を併せ持っている。PMS/South はターミナル間を移動する乗り継ぎ及び出国審査を終えた搭乗客用としてターミナル2とターミナル3、及びターミナル3間を運行している。PMS/North は空港を利用する一般客用としてターミナル1、ターミナル2及びターミナル3間を往復している。また、本システムは他の空港交通機関（タクシー、地下鉄）及び駐車場とも接続し、空港から市内への接続をより快適にする一翼を担っている。

本システムは7つの駅（A-South, A, B, C, D, E, and F）で構成され、近傍の搭乗ゲートの名前を冠して乗客にわかり易い配置となっている（図1、図2）。

APM の中央司令室は A-South 駅の近くのメンテナンス事務所内に配置され、さらに副司令室がターミナル

3ビル中央部に配置されており、いずれの司令室からも全システムを制御することが可能となっている（図3）。

これらを含め、当社は上記システムにおいてコンクリート走行路、軌道・駅機器、電力システム機器、信号システム機器、通信システム機器、メンテナンス機器、及び車両の設計、製作、据付、試運転が施工範囲に含まれている。

3. クリスタルムーバー車両

当社は16両の“クリスタルムーバー”をシンガポール・チャンギ国際空港に納入した。これらの車両はPMS/North に10両、PMS/South に6両配置されている。オリジナルの“クリスタルムーバー”のデザインとは異なる5種類の斬新な“顔”のイメージを客先に提案し、最終的に図4に示す車両をモデルとしたイメージ図を選択頂いた。オリジナルの斬新で先鋭的なイメージ図を忠実に再現する様、実設計に配慮し図5、



図2 APM プラットフォーム



図3 中央司令室



図4 オリジナル“クリスタルムーバー”とチャンギ空港向けレンダリング

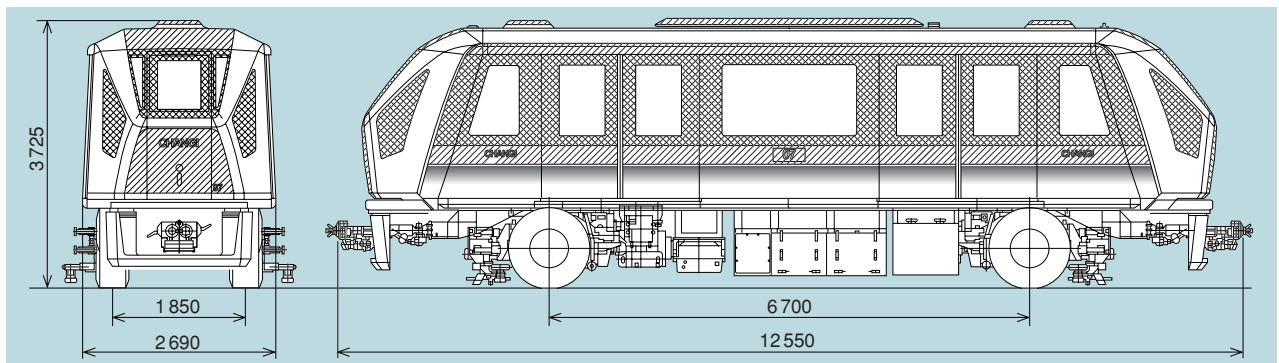


図5 車両形式図



図6 チャンギ空港向け車両



図7 車両内装

図6、図7のような車両を製作するに至った。本車両のデザインは経済産業省が1957年以来開催している“グッドデザイン賞”を2006年度に受賞している。

当社は要求されるシステムにあわせて単車運転から複数の連結車両まで幅広い選択肢で対応しており、チャンギ空港 APM システムでは単車×2両でターミナル1からターミナル2間を運行中であり、将来は3両までの拡張計画を有している。

4. 信号・通信システム

4. 1 信号システム

チャンギ空港 APM システムで採用している信号システムは信号保安および自動運転システムは国内新交通システムの方式に準じており、チェックイン・チェックアウト方式による列車検知及び実績のある自動列車制御システムを適用している。

本 APM システムにおいては、駅での列車定点停止位置から軌道端末までの過走防護距離が建築上の制約から短く設定された為、車上 ATP による ORP（過走防護制御方式）を採用している（図8）。列車が ORP 信号現示区間に進入すると車上 ATP（自動列車制御装置）が車上 ATO（自動列車運転装置）による定点停止制御パターンを防護する形で ORP 制御パターンを生成し、列車速度が ORP 制御パターンに抵触すると非常ブレーキが作用し列車は安全に非常停止する。

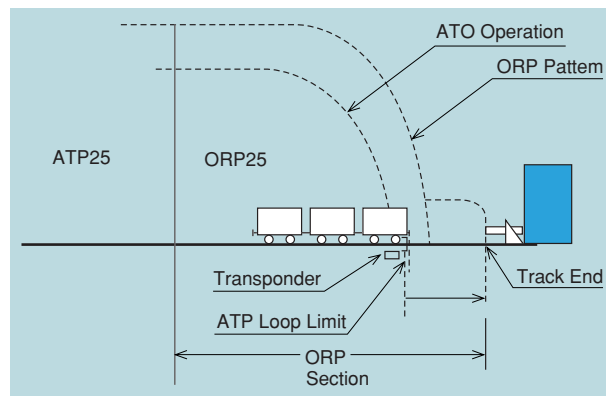


図8 過走防護システム

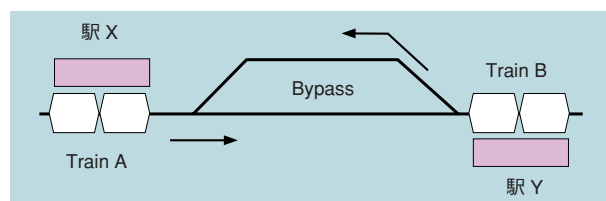


図9 バイパスシャトル



図10 バイパスシャトル（写真）

4. 2 運行管理システム

本システムは列車を投入／引き込みの際に営業運転中の路線を經由するため経由先の営業路線を考慮した車両の操車が求められ操作が複雑になる。効率的な操作性及び運行を実現するために列車の発点及び着点を選択することで自動進路制御することでオペレータの負担を軽減している。

さらに本システムの運行における特徴としてターミナル2とターミナル3間において図9、図10に示すような列車はバイパス運行されており、対抗するお互いの駅を同時出発・到着するように同期制御を行っている。具体的には、駅停車時間のカウントを列車の駅停車状態を判断して自動調整することで駅出発時の同期を行い、また駅出発時に地上駅制御装置から車上に対して付加される信号を ATO が認識することで駅間走行時の列車速度を調整しバイパス部のすれ違い時



図 11 車上 CCTV カメラ



図 12 フライトインフォメーション

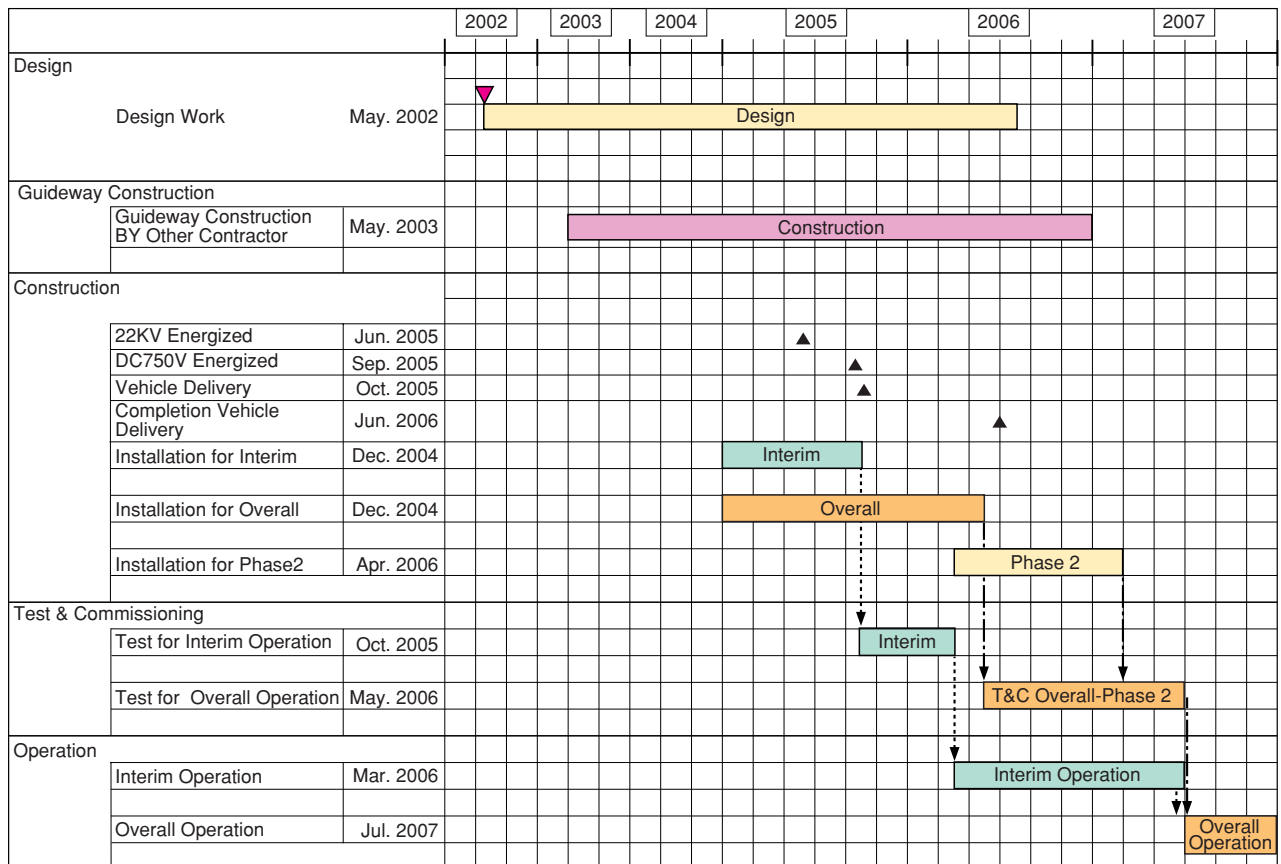


図 13 プロジェクトスケジュール

のタイミングを最適化することにより到着時の同期を図っている。

4. 3 通信システム

運行に特に重要な車両 - 地上間の音声通信及びデータ伝送に周波数申請，認可を受けた特定の 400 MHz 周波数帯を 3ch（音声，音声制御，データ伝送）使用した無線空間波方式を採用している。PMS North 及び PMS South エリアに各 2 台ずつアンテナを設置して全エリアをカバーし，車内監視を目的とした車上 CCTV システム（図 11）には 2.4 GHz 帯，車上案内情報表示システム（フライトインフォメーション及び

広告等）（図 12）には 5.2GHz 帯を用いた無線通信により，画像／情報データを車両 - 地上間で送受信している。地上側の基幹データ伝送には光伝送路の冗長性構成を伴った光伝送装置を各駅に設備し信頼性を確保している。

5. 建設工事

建設工事は 2 つの異なるステージから構成されている（図 13，図 14）。第 1 ステージは既存のシステムを改造して早期に営業運転を行う予定の“暫定運転区（Interim）”と新規に軌道を建設し，ターミナル

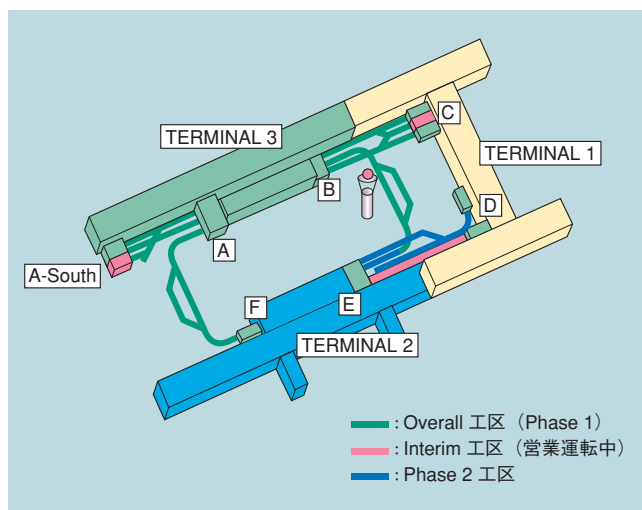


図14 全体の軌道

3と既存のターミナル間を連絡する“全体運転工区（Overall）”の建設（全体の70%）を指し、我々は“Interim”及び“Overall”とそれぞれ呼んでいる。

第2ステージは“暫定運転工区（Interim）”の営業を開始した後、それまで稼動していた既存システムを止め、新たに既存システムの構造物を活用した建設工事（全体の30%）をさす。我々はこの工事を“Phase 2”と呼んでいる。

特に第2ステージでは“既存システム構造物を活用した新システムへの移行”及び“長期の営業運転停止無しで既存から新規システムへの速やかな切替”という2つの課題の遂行を求められている。以下に示す工事手順にそって建設工事を行い、現在ステップ3に到達している。

(1) ステップ1

複線の既存線軌道のうち、片側（枠内）の運行を止めて客先契約業者によって既存システムの軌道及び走行路を取り払われ、側方案内システムである我々の軌道およびアライメントにあわせて側壁の追加等の改造・および駅建設工事を行った。もう一方

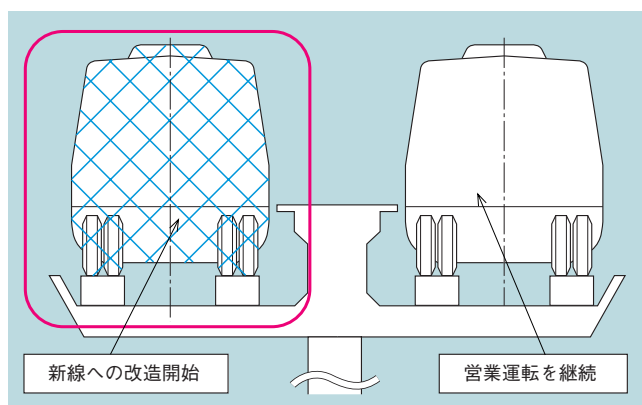


図15 既存システムの改造（ステップ1）

の軌道では新システムが稼動するまで営業運転を継続された。客先所掌の改造工事は2004年の10月に開始され、追いかける形で2004年12月より新規システムの据付工事に着手した（図15）。

(2) ステップ2

2004年12月より9月までの約9ヶ月間で約550mの区間において走行路から軌道、ケーブル工事に至るシステム工事を完成させ、10月には2台の“クリスタルムーバー”を搬入し試運転を開始した。試運転は2006年3月中旬まで続けられ、暫定開業運転を2006年3月16日より正式に開始した（図16）。この暫定開業運転と同時に既存のシステムはその運転を止め、新たに改造工事を開始することとなった。

この工事で平行して全体の70%を占めている新規の軌道“Overall”も2005年初頭より同様に走行路、軌道、電路、電力、信号、通信、駅設備、メンテナンス設備の各システム工事の工事が行われ、2006年7月に完成し、試運転調整を続けている。

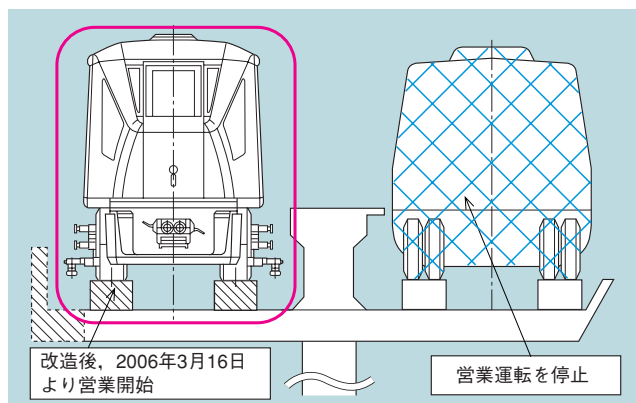


図16 既存システムの改造（ステップ2）

(3) ステップ3

暫定運行開始後、残された既存区間及びその軌道に隣接する新規軌道区間の工事が開始され、2007年3月現在、建設工事はほぼ完成し、試運転を開始した。複線だった軌道は全部で四線が並行する大きな軌道となり、2007年7月の引渡しを目指し、試運転中である（図17、図18）。

6. 暫定開業

既存システムを取り替えた先行開業区間であるターミナル1とターミナル2間の“暫定営業運転”は2006年3月16日に開始され、既に14ヶ月が経過した。

1両は乗り継ぎ客用として、もう1両は一般客向けとして2両固定編成で運行されている（図19）。

営業運転時間は朝6時から深夜1時30分までの19.5

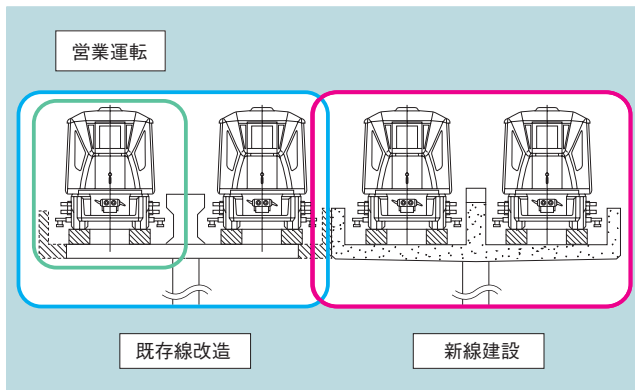


図 17 既存システムの改造（ステップ3）



図 19 暫定営業運転



図 18 既存システムの改造（ステップ3写真）



図 20 空港利用客

時間に約5分の運転間隔で行われ、これまでの14ヶ月で走行距離約114,000 km、約8,000時間走行し、平均稼働率は99.8%に達している。暫定開業のため、予備車両無しでの夜間のみのメンテナンス作業を強いられる中での営業運転となっているが、高い稼働率を維持している。この暫定運転は全体開業まで続けられ、営業運転を止めることなく暫定システムから全体システムへ速やかに移行させることを目的として運行されている。

7. 全 体 開 業

現在、暫定運転を敢行中であるが新たに建設されている第3ターミナルの営業にあわせ本格的な営業運転に入る予定である。全体開業の際には各駅間をシャトル運行で結び、空港の乗降客の状態に合わせ、ピークモード、オフピークモード、オンコールモードの3つのパターンを繰り返し、24時間運行を予定している。

8. お わ り に

当社は客先の要求に対し、柔軟に対応すること、及び注意深く計画・実行することによって既存のシステムを使用することによって発生する拘束条件等を解決

し、既存のシステムに影響を与えず、なおかつ長期の使用不可能な時間を作ることなく、システムを切り替えてきた。また、営業運転においては高い稼働率によってその信頼を獲得している。

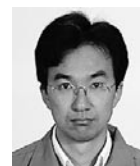
プロジェクトは全体システム引渡し前の最終段階に到達しており全体開業に向けて安全に工事が完了するよう心がけている。

さらに空港の利用客が楽しく快適に空港内を往来できるよう安全で快適な当社のAPMシステムを提供し続けていかなければならないと強く思う次第である（図20）。

最後に、本APMシステムプロジェクト遂行にあたり、ご指導ご協力頂いた関係各方面の方々に深く感謝いたします。



柏誠



持留裕之



山本新