

JR-EAST Innovation 2015 特別講演

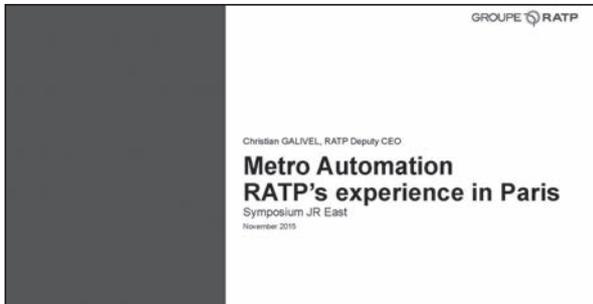
「パリ地下鉄の自動化への道のり ：パリ交通公団の事例」

Metro Automation
RATP's experience in Paris

パリ交通公団副総裁 クリスチャン・ガリベル 氏

Mr. Christian Galivel: パリ交通公団 副総裁 (技術部門・投資部門およびグランパリプロジェクト担当)

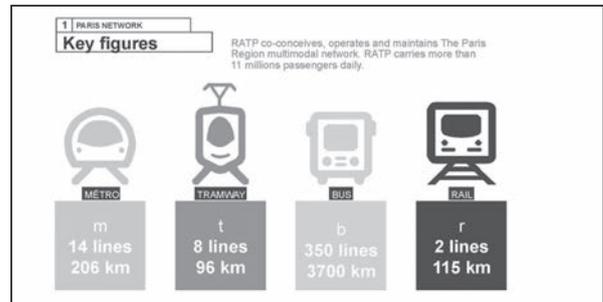
1981年高等電気大学卒業。1982年パリ交通公団 (RATP) 入社、1989年速度制御システムの開発と実装のためのプロジェクトマネージャー、2003年鉄道車両メンテナンス室長、2006年メンテナンス部長、2009年鉄道車両部長、2013年から現職。



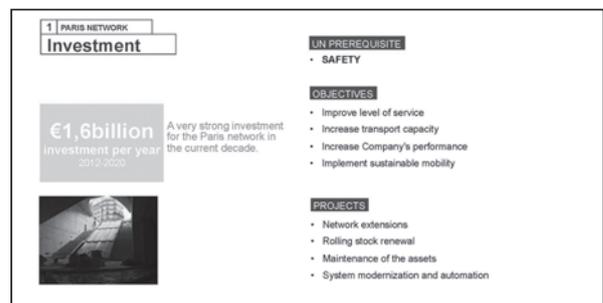
ご紹介頂きましてありがとうございます。皆様の前で我々パリ交通公団 (RATP) の経験をお話できること、とてもうれしく思います。今日はまず、いくつか数字を挙げながらRATPの経験談についてご紹介したいと思います。その後、須田先生の講演の中でも何度か触れていただきましたが、我々RATPが実施した自動化に向けた様々な新しい挑戦についてもお話をしたいと思います。

1. RATPの概要

当社の事業概要を説明します。



事業範囲と致しましては、地下鉄ネットワークが260kmです。その他、350以上のバス路線に加えて、トラムや路面電車があります。また、郊外まで延びている鉄道路線 (RER) のA線・B線が、115kmのネットワークを構成しています。

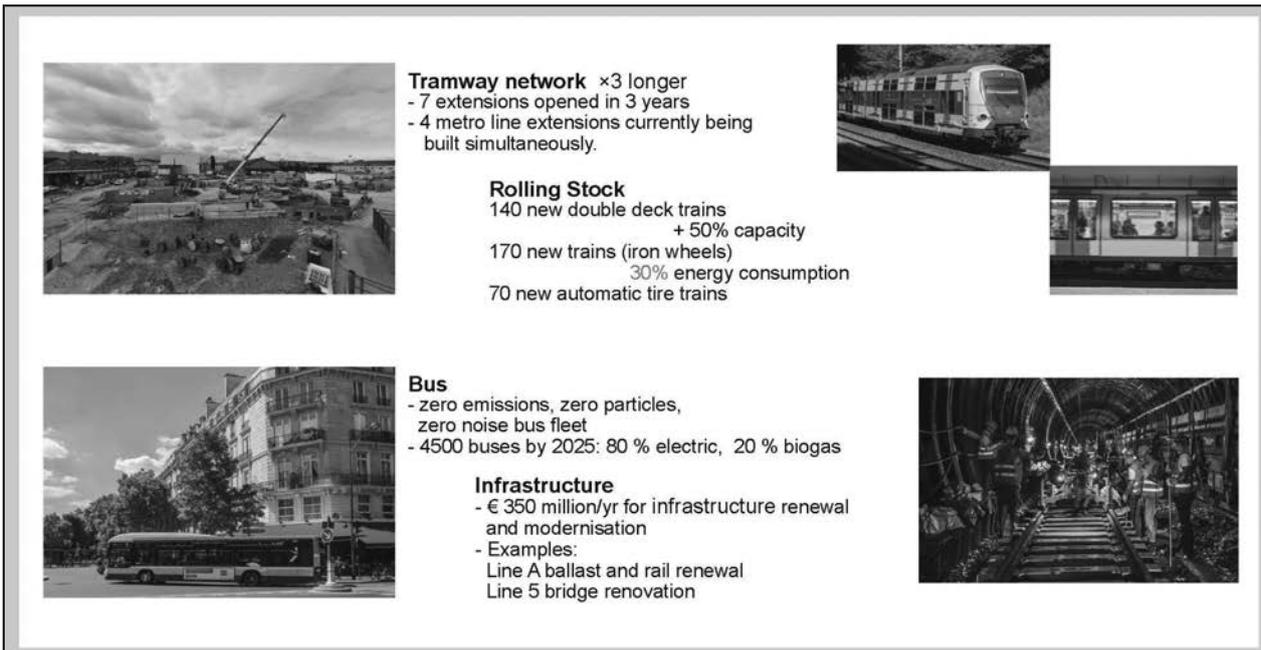


Special feature article

またRATPは現在約16億ユーロの設備投資を行っており、2015年にはこの値を超えると予想されています。主な使用目的は第一に安全、すなわち鉄道運行に対する安全と、乗客の安全です。その他、サービスの質の向上や、持続可能な発展のための開発も重要です。

(図A参照) 一つ目に挙げられる重要なテーマは路線の拡充です。特にパリでは継続的に行われており、路面電車ネットワークは3倍ほど拡大されました。さらに今後、路線延長の計画があり、例えば地下鉄の14号線は、最終的にはグランパリプロジェクトで計画されているRERの新しい駅につながる事が予定されています。当社管内の古い所では1世紀以上の歴史がある中で、運転の自動化を推進しているため、路線の延長に加えて、運行に関係する機材や設備の刷新なども合わせて行っております。いろいろな努力をしておりますが、特に郊外線に関してはネットワーク全体で自動化を計画していること、省エネ運転の計画もあ

りまして、そのためには140項目の改善の必要があります。二つ目は、ネットワーク拡充だけでなく、新しいサービスの提供も行っていきたいと考えています。具体的にはまず冷房関係や、情報提供のビジュアル化などがあります。車体更新や騒音低減、また、安全面に関しましては、後ほど話をする自動化と安全の取組みに関しまして、CBTCシステムの導入区間の拡充があります。そして三つ目は、環境に対する配慮も重要な検討項目です。RATPでは、2025年を目途に、今走っている4500台のバスを新型に置き換え、バイオガスで走る形式が20%、そして電気バスが80%を考えております。このように新しい技術をどんどん取り入れていきたいと考えております。ただ、低騒音・低環境負荷を実現する技術の導入に関しては非常に難しい問題があります。そのため、メンテナンスや設備更新など毎年いろいろな努力をしております。細かい所では、郊外線の枕木やバラストなどを新しく入れ替える作業を頻繁に行うなど普段から出来る事にも余念がありません。



Tramway network ×3 longer
- 7 extensions opened in 3 years
- 4 metro line extensions currently being built simultaneously.

Rolling Stock
140 new double deck trains + 50% capacity
170 new trains (iron wheels) 30% energy consumption
70 new automatic tire trains

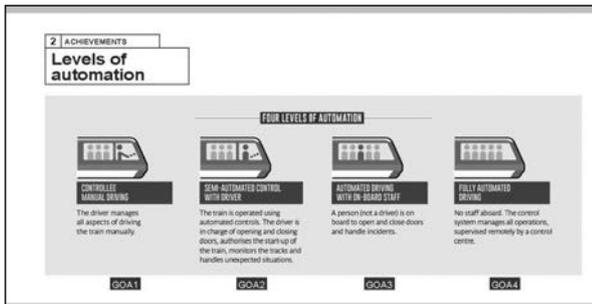
Bus
- zero emissions, zero particles, zero noise bus fleet
- 4500 buses by 2025: 80 % electric, 20 % biogas

Infrastructure
- € 350 million/yr for infrastructure renewal and modernisation
- Examples:
Line A ballast and rail renewal
Line 5 bridge renovation

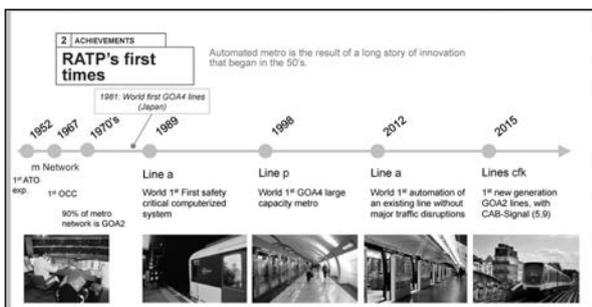
図A

2. RATPでの地下鉄の自動化

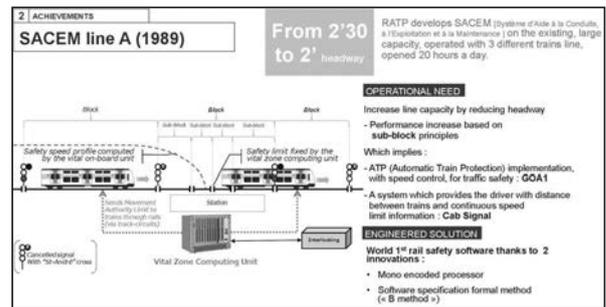
話は変わりますが、鉄道車両の自動化に関しては、ステージ1からステージ4の4段階のレベルが定義されています。



ステージ1というのは、もし運転士が操作を誤った場合、システムが修正・サポートするというものです。ステージ2というのは自動運転ですが、運転以外（ドアの開閉や異常時対応など）に関して運転士が行うというものです。それからステージ3ですが、RATPは導入しておりません。これは運転士では無い乗務員が保安要員として乗車しているだけになります。ステージ4が完全自動化になります。

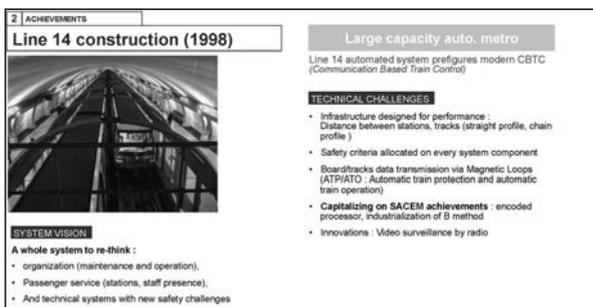


RATPは1960年代から継続的に自動化を進めております。ステージ2 (GOA2) から導入しています。今は同じシステムがモントリオールやメキシコにも導入されています。この技術ですけれども、1998年に14号線に導入され、2012年にはステージ4の実現が行われました。一方、1号線は1900年にオープンした路線で、そして手動運転から完全自動化が図られました。そして5号線では、2015年に新しい世代のGOA2、ステージ2の自動化が行われました。

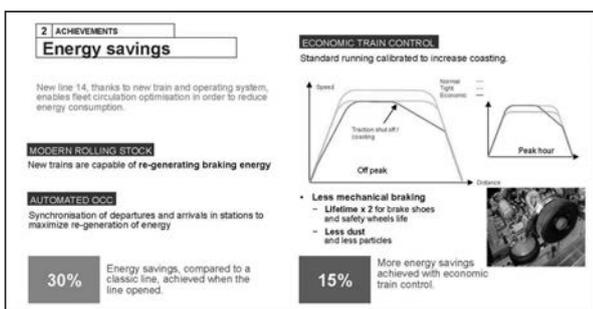


少し戻って、1989年の話をしたいと思います。SACEM (サセム) というシステムを導入いたしました。これは基本的に閉塞信号システムをベースとした改善を進めております。地下鉄はこのシステムの導入で、2分30秒の運行間隔を2分に縮めております。しかし例えば問題が起こったときに運転士が急停止をなかなかできないということで、それで閉塞区間(ブロック)を小さなブロック、(サブブロック)で分けて、出来るだけ車両間の距離を短くするようにしました。そしてコンピューターで列車速度などから停止位置や速度制限などの必要情報を車上信号に伝えるようにしました。エンコードしたユニプロセッシングという手法を利用し、バグなども全部割り出すことができるようになりました。

3. 地下鉄14号線:初の完全自動化



この考え方は現在、多数の路線でも使用されており、完全自動化している14号線にも使われております。そのICT化をSACEM(サセム)というシステムの形で実現し、自動化により完全無人運転を達成しました。この完全自動化を実現するにあたり、お客さまへのサービスや、技術的な課題などをトータルで考える必要がありました。その他、エネルギーや安全に関しても配慮するように検討しました。例えば、線路を使った通信方式は、その当時の技術的なキャパシティーに合わせてシステムをどんどん使いやすいものに変えていくようにしました。



また他のメリットとして、省エネルギーが実現可能となります。具体的には、最初の出発と到着を自動化することによって車両側でブレーキをかけて止まるときに生まれる回生エネルギーを回収し、次に出発する車両へその回生エネルギーを渡す、この他惰行運転を増やすことで、エネルギー節約を行いました。単純にメカニカルなブレーキを使うことを減らしていきました。

4. 地下鉄1号線:最古の路線の自動化

(図B、C参照) 14号線と異なり、1号線の場合はまた違ったアプローチをとりました。パリ万国博覧会が開かれた1900年に既に存在したこの古い地下鉄を自動化するのは非常に大きな挑戦でした。この線区は設備が特に古く、当時でも既に信号等の設備更新が望まれておりました。また1号線は主要幹線ですので、多くのパリ市民の足として利用されていることを考慮し、影響を最小限にとどめるため、夜中に3時間程の工事を徐々に行っていくようにしました。順次、自動化に向けて準備を行い、段階を追って手動運転から自動運転にシフトしました。自動化に伴い、労働関係の検討項目もありました。つまり今まで運転業務に従事していた400人の運転士全員の仕事がなくなるわけですから、配慮すべきことが非常に多かったわけです。安全に関しては、運転士がいなくなるという事で、様々な切り口で安全性を実証しなくてはなりません。細かい例で言えば、車内での安全を調べるシステムも確立しなければなりません。駅設備で言えばホームドアが安全に対して重要な役割を担っています。特にカーブが急な所で、乗降客も多い場合、ホームと車両間の隙間の有無とその大きさを確認する必要がありました。

1号線のプロジェクトにおいて非常に特徴的だったのは、手動運転から自動運転に完全移行するまでの時期は、自動運転と運転士による手動運転が混在しました。その際、運転士が運転する地下鉄が今までと同じ操作で、同じ状態の運行ができなければいけない。ですから、移行期ならではの注意事項がありました。結果、乗降客への支障は期間中ほとんど起きませんでした。1号線の自動化で得た教訓や知見を、その後の自動化が予定されている路線にも適用してきました。

2 ACHIEVEMENTS

Line 1 automation



Built in 1900, Line 1 is the oldest, fastest and most crowded line of the Paris metro network. It is heavily loaded during rush hours and also off-peak hours, weekends & holiday periods. In 2003, RATP launches an automation feasibility study.

Double challenge

Automation of a 100-year old line without major traffic disruption




A 100-YEAR OLD LINE

Old infrastructures and specific configuration, implying

- Renewal of all the signalling equipment
- Infrastructure adaptation (Energy, tracks, platforms)
- Curved stations management

NO TRAFFIC INTERRUPTION

Automatizing a line without traffic disruption implies strong **operational constraints** :

- Work shifts of 3 hours per night
- Maintenance works "as usual"
- Mixed mode operation (trains with and without drivers)

図B

2 ACHIEVEMENTS

Line 1 automation

1 PROGRAMME 5 PROJECTS

- **System** : CBTC, Signalling, OCC and PSD
- **Communication** and passengers information
- **Civil Engineering** (platforms)
- **Rolling Stock**

INTEGRATION conducted by RATP

- **system safety demonstration** and sub-systems safety assessment
- **Interface** management
- Installation **works** coordination
- System **test & commissioning**

CAPITALIZATION

- New **rolling stock**, mainly based on existing Line 14 train specifications
- A new **ATC system** (CBTC), mainly based on existing Line 14 O & M specifications
- Same operating **organisation** as line 14 which has proved to be a success

Social management

- **Retraining** some of the drivers to new high skilled jobs
- Benefits of operating an entire network

Innovative Solution

TRACK/PLATFORM INTERFACE

- Mid-height PSD (platform screen doors)
- Train/platform gap detectors for the security of curved platforms

TRANSMISSION

- Transmission via free propagation radio @ 5.9 GHz

MIGRATION

- Progressive Launching of automated train, one by one, over 13 months

MIXED MODE OPERATION

Purpose : no change in drivers environment

NO TRAFFIC INTERRUPTION

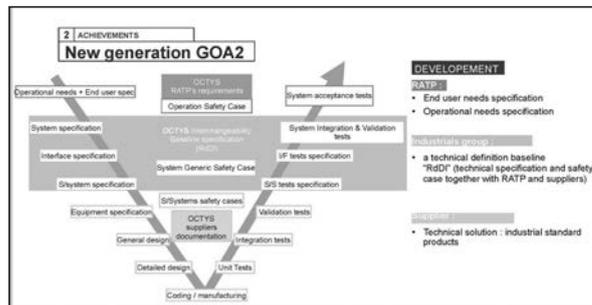
- Factory tests, test track in railway center
- Continuous communication strategy for the passengers
- Detailed planning of maintenance and project work areas



図C

5. 今後の自動化の予定

(図D参照) 一例は5号線になりますが、ステージ2への改良を行いました。この改良のメリットとしては、急激に利用者が増えた場合、すぐに柔軟な対応ができるように、自動運転車両を臨時で出せるような運行形態にしました。また、各種の必要機能、例えば車両と地上の通信システムに関して、インターフェースを標準化しました。加えて、サプライヤーに関しましても、一社に依存しないシステムにすることで、複数の路線で同じシステムが使えるようになりました。標準化を進めていくにあたり、エンコードのICT化と並行して、確認システムをつくって、もし何かしらの間違いがあったとしても、確認ができるようにしました。今、複数社のサプライヤーと契約を結んでおります。



こちらの図は、各設計段階における実証作業を示しております。ここでは各段階において厳しい検査を行う事で、機能のみならず、高いレベルで安全性が保たれているかを確認します。サプライヤーはいろいろな提案をしますが、最終的にハイレベルのスペックを作っていくのは私たちなのです。

2 ACHIEVEMENTS

New generation GOA2 (Line 3,5,9)

The first Paris metro GOA2 system was installed in the 70's. Renewal is to be done in the 2000's. RATP invents the "OCTYS" concept.

OCTYS
a single solution for all Paris GOA2 Metro lines

Open Control of Trains
Integrated &
Interchangeable System

MAIN FEATURES

- transmission via free propagation radio @ 5.9 GHz
- System architecture compatible with international standards (IEC62-290 & Modurban)
- Software safety demonstration by
 - B Method or
 - **Formal proof**- innovation

DEPLOYMENT

First implementation on lines 3, 5 et 9.

- Levels of functionality suited to operational needs
- Since July 2015, line 5 is equipped with the most comprehensive version of Octys, with CAB-Signal.

INTERCHANGEABILITY BASIC CONCEPTS

- **Standardized operational specification**
 - Same rule-book for all lines
 - Compatible with RATP's operation & maintenance organization
- **Standardized interface specification**
 - Standard interface between trainborne, trackside and data transmission systems (no air-gap interface)
 - Functional interfaces with rolling stock, Signalling, PSD and OCC. Allows to separate CBTC contracts from other system contracts
- **Independence from suppliers**
 - For system evolutions : line extensions, rolling stock fleet extension or renewal
 - For future upgrades
- **Obsolescence management**
 - Anticipation for technology changes within the life cycle of the system

図D

6. 自動化のメリット



次に、自動化のメリットを考えていきたいと思えます。数多くのメリットがあります。社会、経済にも非常に良い効果があるということが分かっています。自動運転の導入により、より多くの人を運ぶことができます。また、パフォーマンスとしても乗客にとって、自動化に伴い設置したモニター等の装置を通して、可視化された情報をスムーズに提供することができます。例えば防犯・監視用のビデオカメラで車両・プラットフォームのリアルタイムの状況をビジュアルで提供することができます。省エネルギーにも非常に大きなメリットがあります。また、安全性が高まることで事故をゼロにするということは我々RATPにとって非常に重要なテーマになります。自動運転システムによって、運転士と自動システムの双方が車両を運転していくときの協調関係をどう構築するか、ということはプロジェクトの中で大きな部分を占めます。例えば、もし事故や故障が発生した場合、人間の介入が必要になります。運転士がいる場合は、置かれている状況を的確に理解し、判断、事柄の鎮静・制御する能力を有している事が必要ですが、自動化システムが同等の能力を持ち合わせて、あたかも運転士と同等に状況をコントロールすることができるかどうかというのが大きな課題となっております。もしも何か問題があったときには即座に異変を察知し、状況の鎮静化に向けてシステムが介入するという事です。これらは例えば、ホームドアなどの設備をデータ管理することであらゆる事故の可能性を予測することもできます。ホームに

いる乗客が何か事故にあったときなどもそれを察知することができます。重要な点がもう一つあります。パリでは乗客に関する事故がたくさん起きています。例えば自殺など、線路への転落を一例として、多種の事故があります。このような事故は、自動化された路線では全くありません。一つの理由としては、ホームドアが寄与するところが大きいようです。

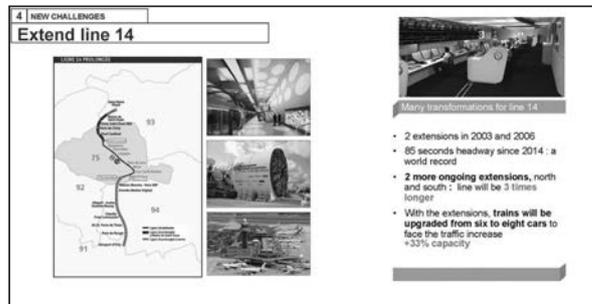
また、利益としても非常に大きなものが得られるということが分かっています。無人運転ですので、列車運転間隔は短くなります。列車本数が増える分、輸送量と言う観点では、乗客数も多くできますし、何か問題があってもそれを迅速に処理することも可能になります。

もう一つ重要な点は運行システムの即応性と柔軟性が非常に高いと言う事です。今年の夏ですが、RERのA線が線路のメンテナンス工事のために、列車の運行を止めました。その際、1号線で臨時列車を出すことで、約100秒間隔で運行し、普段のRERのA線を使用している乗客もなるべく多く輸送できるようにしました。自動運転により、ニーズに応える柔軟で、効果の高い運行システムを実現できると思います。また、パリは地下鉄が24時間走っていますが、このような運行も容易に実現できます。

7. 最近の挑戦

(図E参照) 最近の挑戦の代表例として、現在、4号線の自動化も進めております。1号線が東西だったのに対して、南北をつなぐ路線として、1号線と同等の歴史を持ち、1号線に続いて2番目に旅客の輸送が多いのが特徴です。ノートルダム寺院に代表される各観光地を結んでいるのに加え、北駅・東駅・モンパルナス駅のTGV発着駅を結んでいる非常に重要な路線です。他の地下鉄線全線への乗り換えが出来る、まさにパリの骨格となる路線です。この4号線で自動化を進めるに際し現在、2つの新駅開業と同時並行で工事を進めております。グランパリ計画の路線に結び付ける南方向への2km程度の延伸に加え、1号線より1年短い工期で2020年までに、完全自動化を目指しております。ただ、いろいろな問題を抱えております。自動化に伴う中央制御室の機器更新。そして、この路線はセーヌ川の下にあるため、湿気を防ぐ工事をしなければならない。また他の路線同様1900年代に作られ

たホームですのでホームドアの重さに耐えられないなど、脆弱性への対応も求められています。



もう一つは14号線の延伸です。こちらは工事が既に始まっております。メリード・サントワヌという駅まで延長が決まっており、2024年までに現在の線路延長の約3倍に伸びます。最終的にはオルリー空港まで延ばす予定です。一気にには出来ないため、図にあるように、2段階にわけて工事を行います。これに伴い、6両編成の車両を8両編成に増備します。これで33%程度輸送量が増える見込みです。

4 FEATURES / CHALLENGES

Automatize line 4

New additional challenges lie in Line 4 automation compared to line 1 automation

- North/south backbone of the Paris metro
- 13 km, 29 stations
- Connected to ALL metro lines (13) and suburban lines (5)
- **Sudden peeks in traffic demand**
Touristic areas, 3 major railway stations (TGV)
- 2nd heaviest traffic after line 1

Challenges

3 DIFFERENT TYPES OF ROLLING STOCK

- 2 types of trains coming from line 14 + one new train
Several interfaces to integrate

LINE EXTENSION IN PARALLEL WITH THE AUTOMATION

- A 2 km extension with 2 new stations to be opened in 2020

RECENT OPERATING CONTROL CENTRE

- OCC was computerised in 2001, featuring evolved functionalities for "drivers management"
to be maintained during mixed operation phase

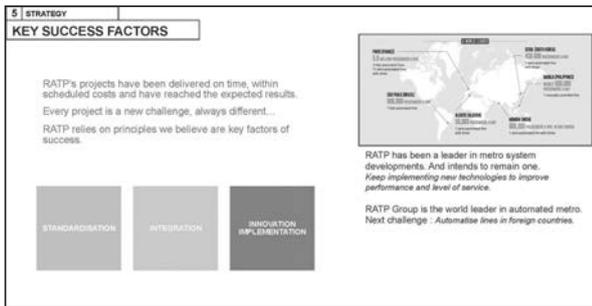
SENSITIVE INFRASTRUCTURE

- Tunnel and tracks beneath the river Seine : strong infiltrations to be treated before automation
- Fragile platform structure to consolidate for screen doors

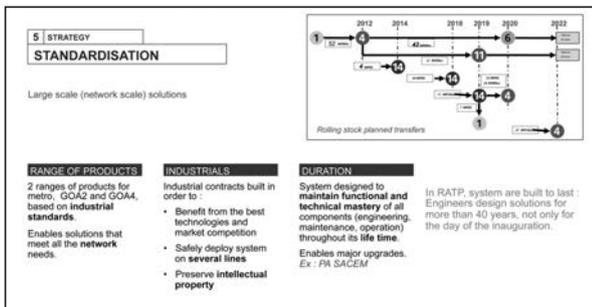
REDUCED SCHEDULE • 1 year less than for line 1

図E

8. 技術戦略—地下鉄の自動化の成功に向けて



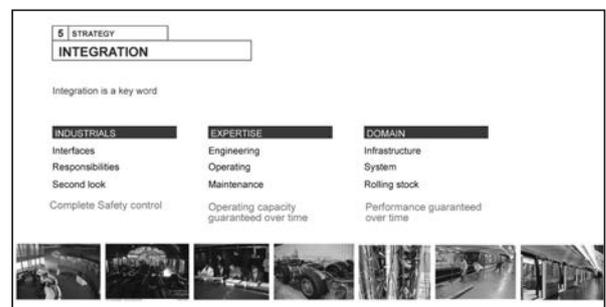
自動化を進めるにあたって、三つの課題があると思います。一つは標準化です。導入した新技術をベースとして、さらに改善を重ねていくということです。それからインテグレーション（統合）です。それから革新、イノベーションというものを地下鉄のシステムに様々な形で組み込んでいくということが重要です。これと並行しまして、私たちRATPとしては（ブラジル）サンパウロなどの海外市場へ、自動運転対応の信号システムなどを、子会社を通して進出していきたいと思っております。



まずは標準化です。現在、RATPでは自動化にはGOA2とGOA4の2種類のシステムがありますが、両方とも標準を十分に満たした設計をしております。また、安全の確保を最重要項目にかかげつつ、IP（知財権）の管理なども同様に大切に扱っております。安全性、機能性、それらを支える技術がこの先50年、そして100年と使い続けられる事を目標として非常にフレキシブルなデザインを行う必要があります。当然、技術も目覚ましく進展しておりますので、それも考慮していかなければなりませんし、一度動き

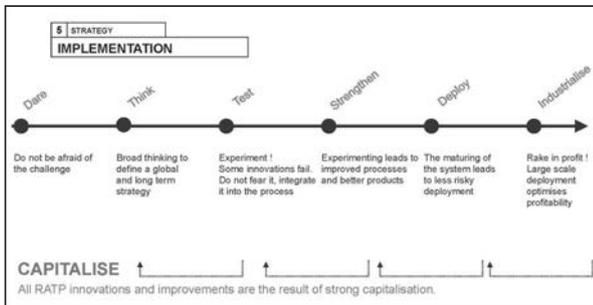
出したら、メンテナンスを行う必要があります。現場で蓄積された知識や経験をさらにメンテナンスや次のプロジェクトに生かすということも、十分に考慮しなくてはなりません。

フレキシブルは何もシステムだけに限った話ではありません。自動化を行うと、何百人の運転士が職を失います。他の路線で運転士になる人もいますが、運転士には違う職に移ってもらう、例えばコントロール・ルームに行くとか、蓄積した能力を他に生かし、当社全体のビジョンを俯瞰して持っていただくようにするなど、フレキシブルな人員運用を可能にしています。また車両に関しましても、例えば1号線で使っていた車両を、システムの変更に伴い、4号線で使うようにしております。それで4号線の車両は11号線に回す。システムやそのインターフェースが統合、すなわち標準化されたものでなければこのようなことはできないのです。



次にインテグレーション（統合）ですが、これは非常に大切なキーワードです。当社の仕事に係る全ての人間、エンジニア、オペレーター、それからメンテナンスの人たちが同じ技術のインターフェースについて作業ができること、実証・安全の実証に関わることができること、そして新しい技術的ソリューションが提案された場合、長い年月の先を見越して検討する必要があります。また、導入した技術により、システム全体のパフォーマンスが維持されていかなければならないし、改善されなければならぬということを考えながら社員全

員が組織として同じ方向を向いて仕事をしていかなければならないわけです。



最後に示しているのは私たちのビジョンです。自動運転など新しい挑戦に対して、いろいろな技術や人材を蓄積していくだけではなく、それを実走する人たちもいます。ただ、人間というのはやはり間違ふこともあるわけです。そのためにも、ツールや手法を開発して、間違いを必ず特定できるような方法の導入に加え、その導入されたシステムが人間に代わるもの、それでしかしお客さまに安心を与え続けられることが必要になります。このようにシステムにおけるマン-マシンの関係は非常に重要なところであります。

そして、システムを開発し、それが展開していくにあたり、重要なのはその瞬間で全てが成り立っているわけではないという事です。例えば14号線の自動運転システムが可能になったのは、その前のRERのA線にSACEM (サセム) というシステムを入れたから可能になったわけです。そしてさらには1号線も可能になったのはそれ以前の蓄積があったからです。開発・導入・保守にあたり、エンジニアやメンテナンス、あるいはオペレーターが蓄積した能力を次の人たちに引き継ぐことができた、そういう長い歴史の上に全てが成り立っています。例えば工事だったら、前の工事の結果や教訓を受けて、今度は自分が次の世代へ教訓を伝える事で貢献をしていくことで徐々に大きなものがつくられます。このような大きなスケールで、

人の能力の貢献によって持続的な発展が可能になっているわけであります。

これで終わりたいと思います。どうもありがとうございました。