

## ボルドーの地表集電LRTの 技術・運行調査報告



2005年4月8日  
関西電力 株式会社  
株式会社 三菱総合研究所

## 本日の発表内容

1. 地表集電技術について
2. ボルドー市での導入までの経緯
3. ボルドー市での運行状況
4. 今後に向けて

## はじめに

### ● 本調査の背景

- LRTの導入に関しては、国内でもいくつかの地域で検討が進んでいる。LRT導入に際しての課題のひとつに、環境面からの景観の確保があげられる。これは、都心部で電線の地中化を進めている地区において、LRTの導入により新たに架線のためにポールを建設することは、景観上で問題があるとの考え方による。
- 一方、フランスのボルドー市では2003年12月より、地表集電技術を用いた新しいLRTの運行が開始された。そこで次世代環境交通システムに関する調査の一環として、関西電力株式会社は、株式会社三菱総合研究所に委託して、その現状を調査した。本報告は、その調査の内容の一部である。

## はじめに

### ● 本調査の訪問先

- フランスの現地調査は2004年10月に実施した。
- 現地の主な訪問先は以下のとおり。

- ・ CUB (ボルドー都市圏公共交通部門)
- ・ CONNEX Bordeaux支社
- ・ EDF (フランス電力公社)
- ・ INRETS\* (フランス国立運輸安全研究所)
- ・ CERTU\*\* (フランス国立交通都市研究所)

\*THE FRENCH NATIONAL INSTITUTE FOR TRANSPORT AND SAFETY RESEARCH  
\*\*Centre for the Study of Urban Planning, Transportation and Public Facilities

2

3

## 1. 地表集電技術について



4

## 1. 地表集電技術について

### ● これまでの方式

- (主に1900年代初めに普及、1950年ごろまでには消滅)
- 固定接点方式 (Stud 方式)
  - 地中溝方式 (Codoit方式)

### ● 最近の方式

- (1900年ごろから研究が本格化)
- ALISS方式 < Alstorm社 >
  - INNORAIL方式 (APS方式)  
< INNORAIL社 >

5

# 1. 地表集電技術について

## ● 最近の方式

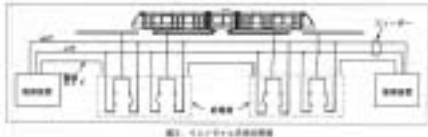
- ALISS方式 (Alstom社が開発した地表集電技術)
  - ・ 道路に一定間隔で埋設した制御箱にIGBTを用いたスイッチを設置し、車両が上部に来た際に、IGBTをスイッチングして車両下部の給電レールに電力を供給する。車両下部に設置した集電シューが、この給電レールに機械的に接触して受電する。
  - ・ ALISSシステムは1998年から本格的な研究が開始され、2001年1月、Alstomのトラム車両であるCitadisに搭載してAlstom社のラ = ロッセルの工場内の実験装置で走行を開始
  - ・ しかしその後、ALISSシステムの欠点である、設備コストの高さ(高価なIGBTを数多く道路に埋設せねばならないため)や、さらには安全性に課題があることが指摘された。
  - ・ そのためAlstom社は、別の地表集電技術を開発していたINNORAIL社を買収して、ALISS方式の開発を中断している。



# 1. 地表集電技術について

## ● 最近の方式

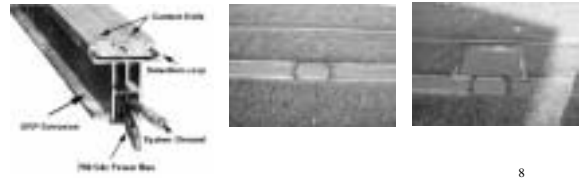
- INNORAIL方式 (APS方式) - ボルドー市のトラムに導入された方式 -
- 道路に埋設した制御箱の電磁機械的なスイッチにより、路面上の給電レールに電力供給し、この給電レールに車両下部の集電シューを機械的に接触して給電する方式
- もともとはINNORAIL社が開発していた技術で、INNORAIL社がSPIE社に買収された後、現在はAlstom社がINNORAIL部門をSPIE社から買収して、Alstom社の保有技術となっている。
- このINNORAIL方式は、APS (Alimentation par de Sol : 地表集電) 方式とも呼ばれている。



# 1. 地表集電技術について

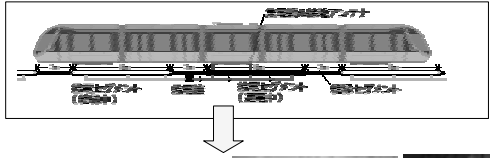
## ● INNORAIL方式 (APS方式) の仕組み

- 地面に設置された給電用のレール(線)は11mごとのセグメントに区切られている。先端は1.5mであり、給電セグメントは8mになっている。給電用のレールは3mの絶縁セグメントで区切られている。
- 車両は信号をアンテナから給電箱に送り、接近を知らせ、これから通過するセグメントを通電状態にしてもらう(1つの給電箱は11mのセグメント2つをカバーする)。
- 逆に、信号が検知されなくなると、給電はただちに遮断される(トラムのアンテナが離れれば信号は送られない)。路面には誘導コイルが設置しており、車両からの電波を受信できるようになっている。



# 1. 地表集電技術について

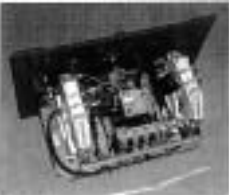
## ● INNORAIL方式 (APS方式) の仕組み



# 1. 地表集電技術について

## ● INNORAIL方式 (APS方式) の仕組み

- 制御箱



# 1. 地表集電技術について

## ● 車両の概要

- Alstom社 Citadis

	Citadis 402	Citadis 302
全長	43.989 m	32.850 m
全幅	2.400 m	←
高さ	3.270 m	←
床面高さ	350 mm	←
昇降口高さ	320 mm	←
空車重量	54 920 kg	41 340 kg
通常重量	75 920 kg	56 610 kg
最大重量	83 970 kg	62 565 kg
	90座席(うち570が固定座席)	64座席(うち48が固定座席)
乗員	通常乗員 230人	通常乗員 170人
	最大乗員 345人	最大乗員 255人
最大速度	80 km/h	←
最大電力	880 kW	692 kW
平均加速 (0-40km/h)	1.15 m/s²	1.10 m/s²
平均加速 (0-60km/h)	0.95 m/s²	0.86 m/s²
線路幅	1 435 mm	←



## 2. ボルドー市での導入の経緯

### ● LRT導入の経緯

- ボルドー市都市圏(ボルドー市を含む複数の自治体の集合)は、人口は70万人。
- 1980年代までは公共交通機関はバスのみで、限界に達した。(それまでは3連バスなどを運行)。
- そのため1986年に、前市長は新しい公共交通機関としてVAL(新交通システム)の導入を提案した。公共交通機関の計画はCUB(ボルドー市都市圏)の交通部署が計画を策定するため、市長の提案に基づきCUB内部で検討が開始された。
- VALを使った地下鉄システムの採択を決定するために1994年に投票が実施された。その結果、VALはコストがかかるとの判断から、VALの採用は見送られ、新たな公共交通機関の計画は白紙に戻された。VALの地下システムは、路面電車(LRT)システムの3倍のコストがかかるとの判断に基づく。
- その後、市長が交代し、新たな市長のジュベ氏はLRT建設を推進した。1996年に、3路線、合計で43.3kmの軌道を設置することを決定した。開業は2003年と2006年の2期に分けて工事を開始することになった。
- 最初の24.5kmは、2004年4月に開業し、残りは2007年に開業予定する予定である。



12

## 2. ボルドー市での導入の経緯

### ● 地表集電技術(APS)導入の経緯

- フランス文化省が歴史的建物の周辺の景観を保護するために、トラムの架線をなくすようにとの指示があったことが主たる理由
- さらに一部の経路で、架線をなくすようにとの消防から要請があった。(火事の際に、はしご車の走行に支障があるため。)

### ● 地表集電技術(APS)導入の経緯

- 設置場所の決定は、政治的な理由が大半を占めている。
- ラインAの末端がAPSを採用し、さらにラインBの延長区間もAPSを計画しているが、これはその区間がある自治体が、新しい技術の導入に積極的であるため。
- なお、消防のはしご車が走れないので、APSを採用したところもあるが、APS設置場所の決定要因は政治的な配慮によるものが大きい。

13

## 2. ボルドー市での導入の経緯

体計画	LRTプロジェクトの責任者はCUB(ボルドー市都市圏)内のMission Tramway 部門 1999年から建設プロジェクトが開始 Mission Tramway 部門の責任者はパリ市交通局(RATP)から招聘
備の所有者	CUB(ボルドー市都市圏)
行	CONNEX社へ委託 (運転、電停の清掃、電停での苦情の受け付け、列車の運行管理)
表集電(APS)運	INNRORAIL社(Alstom社)が保守点検
両	Alstom社が車両を製造、保守管理も現在はAlstom社が担当。 保守管理は将来的にはCONNEX社へ移管する予定
ーパンラング	Brochet-Lajus-Pueyo
金の拠出	60% ボルドー市都市圏 財源(交通税を含む:10人以上の従業員の事業所に課税) 20% 国とEUの補助 20% 借入金

14

## 2. ボルドー市での導入の経緯

総輸送量	2005年 バスとトラムで35万 (うちトラムで40%の14万人を輸送予定)
	2008年 トラム 16万人
時間輸送量	ラインA 4,500人/時間 ラインB 4,500人/時間 ラインC 3,000人/時間
営業時間	5時から深夜1時
運転間隔	ピーク時 4分間隔 その他 8分間隔
第二期終了後の車両数	70両

15

## 2. ボルドー市での導入の経緯

### ● 路線開業の推移

Line A	Meriadec- La Morlette / Lauriers	2003年12月21日
Line C	Gare St-Jean - Quinconces (第一期工事でのラインC完成)	2004年4月24日
Line B	Quinconces - Victore	2004年5月
Line B	Quinconces - Bougnard (第一期工事でのラインB完成)	2004年7月
Line A	Meriadec からSt Augustinまでの延伸 (第一期工事でのラインA完成)	2005年4月

(注)第一期工事は、24.5km分(ラインA:12.4km、ラインB:9.3km、ラインC:2.8km)。  
第二期工事は2007年までに合計で43.7kmの路線に延伸する予定。第二期工事後にはラインA:19.9km、ラインB:15.4km、ラインC:8.0kmとなる。

16

## 2. ボルドー市での導入の経緯

### ● 総費用

- 第一期の24.5km分の総額 646百万ユーロ(約900億円)
- 第二期まで含めた43.7km分 1,050百万ユーロ(約1,500億円)

### ● 集電設備の建設コスト

- 従来の架線での集電技術 0.5百万ユーロ/km
- 地表集電技術 1.5-1.7百万ユーロ/km

17

## 2. ボルドー市での導入の経緯

### ● 経済性の比較

	with catenary	with Innorail
Diversion of utilities	0.864	0.864
Track bed	3.313	3.169
Civil works	2.449	2.449
Trackworks	1.440	1.440
Catenaries/Innorail	0.504	0.936
Sub-station	0.864	0.864
Control & communication	1.440	1.440
Depot	1.728	1.728
Rolling stock	2.881	3.003
Expropriation	0.720	0.720
Engineering & commissioning	2.593	2.593
<b>Total</b>	<b>18.796</b>	<b>19.206</b>

In the case of Bordeaux with 10.6 km out of 43 km total length of line (i.e. 25% with Innorail) the increase in capital cost ~1.5%

出典 | INNORAIL社 Riccardo Zampieri氏の資料

## 2. ボルドー市での導入の経緯

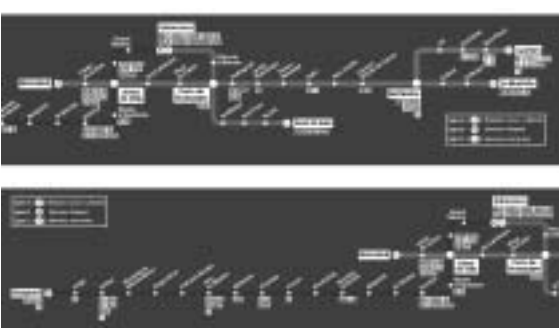
### ● 路線開業の推移

Line A	Meriadeck- La Morlette / Lauriers	2003年12月21日
Line C	Gare St-Jean – Quinconces (第一期工事でのラインC完成)	2004年4月24日
Line B	Quinconces – Victore	2004年5月
Line B	Quinconces – Bognard (第一期工事でのラインB完成)	2004年7月
Line A	Meriadeck からSt Augustinまでの延伸 (第一期工事でのラインA完成)	2005年4月

(注) 第一期工事は、24.5km分(ラインA:12.4km、ラインB:9.3km、ラインC:2.8km)、第二期工事は2007年までに合計で43.7kmの路線に延伸する予定。第二期工事完成後にはラインA:19.9km、ラインB:15.4km、ラインC:8.0kmとなる。

## 2. ボルドー市での導入の経緯

### ● ボルドー市のLRTの路線図



## 3. ボルドー市での運用状況

### ● 地表集電技術 (APS) 導入の部分



## 3. ボルドー市での運用状況

### ● 地表集電技術の導入状況



## 3. ボルドー市での運用状況

### ● APSと架線の切り替え

- APSが開始する地点では、運転手はボタンをひとつ押すだけで、自動的にパンタグラフが下がり、APSの集電シューが路面に設置される。
- 逆にAPSから架線に移行する際には、運転手のAPSのボタンを再度押すだけで、パンタグラフがあがり、APSの集電シューが路面から離れるようになっている。



### 3. ボルドー市での運用状況

- 稼働率
  - 2004年7月に開業したBラインの2004年8月の稼働率は90%
  - 目標の99%以上に対して低い信頼性であった。
  - この状況にBordeaux市長のジュベ氏は、現実の稼働率が低すぎることを問題視し、稼働率を95%以上に引き上げることを市当局との技術を開発したAlstom社に求めた。達成できない場合は地表集電方式を従来の架線からの集電に戻すことも検討すると2004年に発表した。Alstom社は、8月に40人を投入してすでに設置していた第7世代の地表集電の制御装置箱(コフレット)を新しい第8世代のものに交換した。この結果、9月には稼働率は95%を超えている。
- 現状の稼働率(2004年10月現在)
  - ラインC:99%
  - ラインB:95%
  - ラインA:96%

(注)ラインCの信頼性が高いのは、APSで走行する部分が短いため。

- 信頼性向上の目標値
  - 開業後1年で99.85%とすることがCUBとAlstomの間で契約が結ばれている。
  - 信頼性99.85%というのは、1ヵ月に1時間の不具合による運行停止があるレベル。
  - (現在のCラインは信頼率が99%であり、これは1ヵ月に1時間20分の運行停止があるレベル)

24

### 3. ボルドー市での運用状況

#### 不具合の発生

##### 制御箱(コフレット)

- 22mおきに線路の地下に敷設されている電源切り替え制御装置が内蔵している箱の不具合。
- 雨や湿度が高いときに、箱のシールが不十分な場合に、浸水して回路が短絡してしまう。

##### 外部の短絡

- 線路上の集電用の第三軌条はレールよりも12mm高く敷設され、雨水などが第三軌条の周辺にたまるように傾斜をつけてある。
- しかし、大雨の場合などで水溜りができると、路面上で短絡してしまう。これを防ぐために雨水がたまるように3mごとにドレンを設置しているが、不具合が生じることがある。
- また、トラムの連結部分の蛇腹が重みで路面と接触し、これが短絡の原因となる場合があった。

##### 建設工事事業者の経験不足の改善

- 地中配線などの施工の不備による故障が起きている。

26

### 3. ボルドー市での運用状況

#### 今後の対応

##### 雨水、水分の問題の解消

- 一般的には雨水や水分による誤動作が問題視されているが、これは大きな問題ではなく対応は可能。
- 地表集電用の地中に設置している制御箱の不具合は、安全基準確保のために過剰に設定されている電気回路の設定を修正するまでに交換しているのであって、雨水の問題は現状ではない。

##### 安全性の基準の高さによる誤動作への対応

- 地表集電技術は新しい技術であるため、安全性に対して非常に慎重に取り組んでいる。したがって安全基準がかなり厳しく設定されており、これが電気機器の誤動作の原因となっている。(何が問題がある可能性があるかと電力を遮断してしまうので、実際に問題がなくても安全装置が働いてしまう。)
- 現在、電源の切り替え時間の要求仕様は278ミリ秒である。これはトラムの最高速度60km/hの場合を想定しているためである。しかし実際のトラムの走行が最大でも50km/h程度で、中心地では20km/hであることを考慮するとスイッチングに必要な時間は330ミリ秒となる(50km/hと想定した場合。)これによりスイッチング時間を延長でき、パイロットラインの信頼性を向上できると考えている。(ただしこの対策はまだ検討中で実施していない。)

28

### 3. ボルドー市での運用状況

#### 各路線の不具合の発生状況

- 開業してからまもないラインBでの故障が多い。
- ラインA、ラインCのいずれも開業当時は事故が多かったが、その後、APSの不具合も落ち着いてきている。
- 現在、不具合が多く発生しているラインBの施設も、今後は不具合の発生件数が減少すると期待されている。

#### 運行停止を表示する電停



25

### 3. ボルドー市での運用状況

#### 不具合への対応

##### 制御箱(コフレット)

- 不具合が発生した制御箱は交換。ただし、全体で約1000個ある制御箱のすべては交換していない。これは、コストがかかりすぎることもあるが、すべての制御箱が不具合を発生している訳ではないため。

##### 外部回路の短絡

- トラムの連結部分の蛇腹についてはデザインを変更してその下部が路面と接触しないようにした。

27

### 4. 今後に向けて

#### ボルドー市の取り組みからの示唆

##### しばらく時間が評価に必要な地表集電(APS)システム

- 2004年10月の現地調査では、依然として地表集電技術に不具合が多発しており、目標としている運行率である99.85%を達成できていない。運行率は、2004年9月の段階で、ラインAが96%、ラインBが95%、ラインCが99%といった状況。
- しかしこの状況をもって、APSシステムの可否を判断するのはまだ時期が早いと言える。このように低い信頼性の背景には、市長のアピールのために政治的に開業を急いだ点が大い。
- ほぼ同時期に技術的に未成熟の地表集電システム(APS)を用いた路線を3路線も開業したことが大きい。そのため十分に機器の信頼性の検証がなされず、営業運転をしながら機器のバグを取っ払いような状況になってしまっている。特に開業後間もないラインBの信頼性が低いが、今後は改良により、信頼性は向上していくと予測され、INNORAILの地表集電システム(APS)の評価を定めるにはもう少しばら(時間が必要)と見えよう。

##### 無視できない開業を急いだ代償

- ボルドーのAPSシステムの評価は現時点では下せないものの、地表集電システム(APS)を用いて無理に急いで開業した代償は決して小さくない。
- 実際、ボルドー市に続いてINNORAILの地表集電システム(APS)の採用が決定した都市はまだない。
- フランスの各地では、ボルドー市の状況を見届けている状況である。
- 最近では、南フランスのニースにおいて、架線レスシステムの採用が決定された。ニースでは、カーニバル開催時に大きな山車が走行するため、架線を引いた場合、1週間程度毎年架線を切断しなければならないエリアがあることから架線レスシステムが採用された。

29