

安全・快適な鉄道システム実現のための計測技術への期待

古関隆章(東京大学大学院)

Expectation to measuring technology for safe and comfortable railway system

Takafumi KOSEKI (School of Engineering, The University of Tokyo)

Abstract

This paper describes personal views and expectation to measuring and sensor technologies for realising safe and comfortable rail-guided passenger transport systems. Sensor technology can play major roles to enhance passengers comfort and convenience in complicated railway networks. The fundamental system design contributes, however, more significant rather than measuring technologies in safety issues. Since fail-automatic backup systems may often make their users careless and fool. The contribution of sensing and measuring technologies may be more substantial in the field of enhancing transport service quality and passenger comfort in the era of ubiquitous computing. Especially the research and development efforts for supporting sight-restricted and hard-of-hearing passengers will be significant for Japanese community.

キーワード: 鉄道システム, 安全性, 快適性, 利便性, 計測技術, センサ, ヒューマンファクタ, 障害者支援
(Railway system, safety, comfort, convenience, measuring technology, sensor, human factor, support of handicapped passengers)

1. はじめに

鉄道の運行において、列車がどこに存在するか、列車がどの速度で運転されているか、などの列車の状態に関する基本的情報は安全の確保、質の高い輸送サービスの維持に不可欠である。大規模なネットワークを持つ動的システムとしての鉄道サービスにおいて、さまざまな物理量の計測、情報伝送および処理は、安全の確保、旅客の快適性の維持と向上、旅客への案内、列車運行の管理、設備や車両の保守の計画と管理など、鉄道運行業務に関わるあらゆる場面で本質的かつ重要な役割を果たしている。平成17年には、旅客輸送の安全性に関して世間一般の注目を集める不幸な事故が複数起こってしまったこともあり、気象条件に関して、これまで以上に詳細なデータを収集することや、事故調査等の解析作業のために車両の運転状態や運転士の実際の操作の記録を録る技術的方法論への関心も高まっている。また、次世代の都市公共交通技術として自動運転の応用、実用化も熱心に議論されており、その進展に伴い、鉄道システムにおける自動計測と制御の重要性も増すと考えられる。本稿では、安全性、快適性、旅客への情報サービスなどのキーワードごとに、計測技術が果たす役割を一般旅客の立場から論じる。

2. 安全性確保と計測技術

電気的な原理に基づく計測技術の無かった19世紀前半に、

蒸気機関の発明、実用化の結果、鉄道馬車の動力を畜力から機械力に置き換える形で鉄道システムの歴史は始まった。リバプール〜マンチェスター間約51kmの世界初の本格的旅客鉄道の開業式は1830年9月のことであるが、その開業の日に、これも世界最初の運転事故が発生したとのことである。また、1872年10月14日(太陽暦)の日本における鉄道開業式当日にも、障害事故が発生したとのことである。現在、鉄道をはじめとする軌道系の公共旅客交通は、他の交通手段に比べ圧倒的に安全性の高い輸送手段と考えられているが、本質的に次元に拘束され、ブレーキ力が車輪とレールの間に働く摩擦力(粘着力)に依存しながら高速で走行し、かつ脱線、転覆などのリスクをもつ鉄道は、本質的に危険なものである。しかし、衝突回避のための閉そくシステムを基本とする信号保安システムのおかげで、図1に示すように、現在に至るまで安全性の高い交通手段としての実績を示すことができている。

列車を高速で走らせながら、それらの位置を把握し安全性を保つ信号保安システムのためには遠隔の情報を瞬時に知る必要がある。このような技術的要請から、動力に電気の技術を用いる電気鉄道の歴史が本格的にはじまる1890年代よりもかなり早い1839年に、グレート・ウェスタン鉄道に鉄道旅客輸送と線路保守のための通信手段として電信が採用された。そして1840年代後半には電信を用いた閉塞システムが導入されている⁽¹⁾。

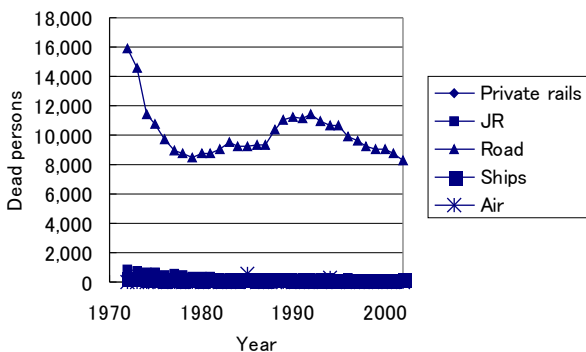


図1 各交通モードごとの事故による志望者数の推移

Fig. 1 Number of persons killed in accidents in each transport mode

その後の信号保安の技術の進歩、蓄積は著しいが、鉄道の安全性を基本的に支えている信号・保安システムの基本的考え方は、現在でもこのときに確立したものと同じである。すなわち、ある長さを持つセクションの中に列車の存在を検知した場合、同じセクションには絶対に他の列車を入れないという原理を、信号機などを用いて実現するという考え方である。したがって、意思決定＝信号現示に必要な情報は、基本的に当該ブロック(閉塞)に列車が存在するか否かという情報のみであり、これは極めて粗い位置検知と考えても良い。これは、軌道回路という仕組みにより、回路の故障などの技術的理由によって正しい信号が得られない場合でも、列車が存在しているとして安全側の出力が得られる「フェールセーフ」の思想が組み込まれた検知システムになっている。このように、最も基本的な安全を支える部分は、精度は要求しないが簡単な原理で、故障しても安全が確保できる「古典的」計測技術により成り立っている。

近年、列車自動制御(ATC)、連続的な位置検知に基づくデジタルATC、ブレーキ操作を支援し正確な停止位置を与える自動ブレーキシステム(TASC)、ワンマン運転やドライバレス運転を支える自動運転(ATO)など、運転の支援、自動化を志向する技術の発展が見られ、これらが、鉄道の安全性の向上に寄与していることも事実だが、最終的な安全性を担保する部分では前述の軌道回路を用いた固定閉塞を保安システムの基本にしていることがほとんどである。したがって、これらの高度な計測システムとそれに基づく運転の制御は、円滑な加減速による乗り心地の向上、運転者の負担の軽減を通じての省力化、巡行速度の向上や、より高い列車密度を実現することによる輸送力の向上、省エネルギー運転などの、輸送のサービスの質の向上に寄与していると考えの方が妥当である。

たとえば、図2の写真に示す、自動運転(ATO)技術に基づくドライバレス運転の成功例として広く知られ、ゴムタイヤで走行する地下鉄であるパリ・メトロの14号線が、この自動運転のためにTAPIと呼ばれるベルトのような連続位置検知のシステムを持ちながら、マニュアル運転のための地上信号機も持ち、最終的な保安を確保するための軌道回路を持つために、ゴムタイヤの内側に鉄車輪-鉄レールを「残している」という事実は、鉄道の安全性における伝統的位置検知方法である軌道回路というシステムの重要性を象徴的に示しているように思われる。



パリのドライバレス地下鉄
(a) Driverless subway line in Paris



ゴムタイヤの内側に設けられている鉄車輪-鉄レール系
(b) Iron wheel-rail system for track circuit



軌道短絡を保証する接触子

(c) Additional contact guaranteeing short-circuit of the track



車内の風景

(a) Scenery in a train

図2 パリ市交通局地下鉄14号線の車両の下部
Fig. 2 Underneath of a train for the 14th subway line of City of Paris

昨今の事故の経験から、ヒューマンファクタに着目し、車両の運転状態や運転者の実際の操作記録を録る技術の開発や、運転者の心理状態などに踏み込んで安全との関係を解明しようとする意欲的研究も行われるようになってきている²⁾。一方、鉄道事業者の観点からはこれらの新たな情報の処理、伝送の機能を既存車両にも持たせることは経済的に難しいこともあり、動画データの記録装置を付加的に設備することで、簡易的記録という意味での機能を持たせることの是非も議論されている。たとえば、自動車の世界では、簡易的な動画記録装置を搭載し、事故前後の記録を動画として残すことで、事故原因の究明、事故の責任の明確化に寄与する装置が商用化されており、タクシーなどで急速に普及が進んでいる。

新しい技術開発の成果を生かした高度な計測技術は、自己診断などを通じて保守作業の軽減を図る、設備の劣化に起因する潜在的なリスクを予防的に回避する観点から安全性向上に寄与する可能性がある。

ただし、図3のシンガポールのドライバレス運転の技術に関して聴き取り調査した際、その導入時には、運転指令所の画面に、数百件以上の様々な警報が各所から上がって来て、指令員の対応が取れず、何が本当の不具合の原因で、どれが派生的な警報なのか、何を無視すべきでどれは対処が必要なのかということがわからず困った、日本で今後ドライバレス運転を導入を検討する際には、技術的に難しいことと思われるが、アラートの処理の系統化と、重要性の低い警報を抑制するアルゴリズムの開発に注力すべきであると、現地の運営責任者の助言があった。



運転指令所

(b) Control centre

図3 シンガポールのドライバレス地下鉄
Fig. 3 Driverless subway in Singapore

また、回転ドアにはさまれた子供が死亡した事故の分析などから、本質的な危険回避のためには、システムに関与する人間が潜在的危険を常に意識する必要があり、致命的でない失敗の経験を通じて危険を意識することで本当に危険な事象を避けられるという観点から、センサを多くつけることで人間を保護する考え方は、本質的な危険回避行動を忘れさせてしまうという観点から誤っているという意見もある。これは、小さな怪我や失敗を通じて不安を感じるからこそ、本質的な危険に対する正しい知識が継承され安全が確保されるという意味で、近年のキーワードになりつつある安全・安心という言葉が、安易に用いられることに対する批判とも考えらる。

3. 快適性の向上と計測技術

快適性の向上には、センサ技術、計測技術はより本質的、積極的貢献をなしうと考える。すでに空気ばねを用いた車重の検知は、大まかな乗客数の把握に寄与している。もし、それを駅設備のレイアウトや運転計画および乗客へのきめ細かな情報提供に有効にフィードバックすることができれば、混雑に伴う苦痛の軽減を図れる可能性がある。近年では、輸送需要の伸びの鈍化と、鉄道事業者等の努力によって通勤時の混雑問題は緩和される傾向にあるものの、平均的な乗車時間が長い中で、着席に対する希望や、混雑回避への社会的要請は依然として高い。小型情報端末としても高度な機能を持つ携帯電話などの旅客への個別の情報提供の手段が現実的に普及する中、時間的、空間的な乗車実績の把握と誘導が、輸送サービスの質の向上に寄与する条件が整いつつあるといえよう。

人口の減少化、高齢社会の到来が不可避な社会現象として強く意識される中、マクロには旅客輸送需要の減少が予想される。このような状況のもと、鉄道の社会的役割を考える際、視覚障害者、聴覚障害者、外国人、高齢者などの「交通弱者」への配慮の重要性が高くなる。鉄道総合技術研究所が進めてきた、イエローブロックに無線通信でIDを返す機能を持つタグを埋め込み、視覚障害者の白杖の先端に埋め込まれた送受信機との通信を行うことで駅における移動支援を行う技術の研究開発は、このような方向性を志向した先見の明ある研究と位置づけられよう。平成17年に神戸市で視覚障害を持つ被験者が参加する形で行われたフィールド試験の結果は概ね良好で、視覚障害がありながらも鉄道利用の経験のある旅客であれば、ローカルなメンタルマップの有無に関わらずこのシステムの移動支援の機能により、単独で乗車行動が取れるとの結果が得られおり、今後の研究の進展が期待される。

この例に見られる視覚障害および聴覚障害をもつ旅客が現実遭遇する問題は、利用者の「センサ機能」の一部が不足していることに原因があるので、人工物としてのセンサ技術が本質的に支援をしやすい分野であると考えられる。旅客の絶対数としては小さいが、鉄道が公共交通とし重要な社会的役割を果たしていくためには、今後この分野の研究開発も力を入れることが望ま

しく、確固たる社会的要請もあるので、先端的なセンサ技術の開発の成果がこの方面で活用されることを期待したい。

4. おわりに

本稿では、鉄道の専門家でもなくセンサ技術でも素人である筆者が、「一利用者」の観点から、センサを含む計測技術が、鉄道の中でどのように生かされるかという問題に対して、私見を述べた。安全性の確保という点で、鉄道は簡単な原理で位置検知を行う軌道回路というシステムを伝統的に大事にしているので、新しいセンシング技術がこれに取って代わる主要な役割を担うことは考えにくい。輸送サービスの質的向上には、新しい計測技術の積極的な寄与が可能である。また、快適性向上の分野では、より本質的な貢献が期待され、とりわけ何らかの意味でのセンシング機能にハンディを持つ交通弱者の支援の分野に、センサの専門家がより注目して研究開発を進めていただくことが、望ましいことと考える。

なお、筆者も関係する電気鉄道の駆動技術の基礎的研究開発⁽³⁾の分野では、この数年、回転機の「速度センサレス化」の研究開発が進む一方、オブザーバの技術も用いて、速度情報をもとに極低速度まで駆動制御をきちんと行うことによる純電気ブレーキ化や、鉄車輪・鉄レール系の永遠の課題である滑走・再粘着制御の研究も熱心に行われており、より良い計測・制御技術への挑戦が続いている。

参考文献

- (1) 江崎昭「輸送の安全から見た鉄道史」グランプリ出版 (1998)
- (2) たとえばJSTの平成17年戦略的創造研究推進事業先進的統合センシング技術「安全・安心な社会を実現するための先進的統合センシング技術の創出」
- (3) L. Kovudhilulungsri and T. Koseki: “Improvement of Performance and Stability of a Drive System with a Low-Resolution Position Sensor by Multirate Sampling Observer,” IIEE Transactions on IA, Vol. 124, No. 9, pp. 886-892, 2004