

4. 研究現況

4-1 列車の運転整理

混合整数計画法に基づく列車運行乱れ時の旅客損失に主眼を置いた運転整理最適化

千種 健二

鉄道において、列車は設備面や安全運行上の厳しい制約のもとで綿密に定められた秒単位の運行計画にしたがって運行している。そのため、都市部などの高密度運行地域ではひとたび輸送障害が発生すると、たとえ軽微な乱れであっても広範囲に影響が及んでしまうことがある。そのような際には、遅延の伝搬や混雑の発生を最小限にとどめて速やかに定常運行へと回復させるため、「運転整理」と呼ばれる列車運行計画の調整業務が行われる。

運転整理案の作成には迅速性が求められるが、先述した数多くの制約を満たした上で、定量的な評価が難しい「旅客の被る損失」を考慮した複雑な調整が同時に要求されるため、非常に困難な作業である。したがって、計算機による運転整理支援システムの開発・導入が強く望まれている。しかし現状では、旅客の被る損失を加味した上で指令員に対して適切な運転整理案を提示する枠組みは、十分に整備されているとは言いがたい。

そこで本研究では、頻発する小～中規模の乱れに対して、旅客の観点からみて適切な運転整理案を自動生成するシステムを提案する。具体的には、対象を複線区間に絞って列車運行と旅客行動をそれぞれ数理モデル化し、旅客の旅行時間増大量を線形の目的関数として設定することで、運転整理最適化問題を混合整数計画問題として定式化する。また、提案システムによって得られる運転整理案を検証し、定式化の妥当性を論じる。

A Passenger-Oriented Optimization of Train Rescheduling Based on Mixed Integer Programming

Kenji Chigusa

Once a disruption happens in areas with high frequency of train operations, delays of the trains propagate and train passengers suffer some inconvenience. Then rescheduling of train operations is conducted by train dispatchers to recover the original operational plan. The task is quite difficult and a severe burden for the dispatchers due to a variety of recovery options, a necessity of swiftness and an absence of a proper evaluation criterion. Consequently a computer-aided rescheduling support system is required. In this paper, we present a Mathematical Programming approach for the train rescheduling, focusing on the minimization of the passengers on arrival delay at their destinations. We simultaneously model the train operations and the passenger flow as a Mixed Integer Programming (MIP), and an optimal rescheduling plan is obtained in reasonable time for a small disruption case.

列車密度の高い都市部の複々線区間における大規模乱れ時の運転整理

福地 正樹

人身事故等で乱れたダイヤを元に戻す作業を運転整理という。

この作業は、指令員が経験と勘で行われており、計算機支援が求められている。

本研究室では、乗客視点での評価を用いて、片方向の運転整理案を提案するシステムを開発してきた。

本研究では、大規模乱れを扱いためにさらに上下両方向に拡張する。

そのために、乗客がどの列車に乗るか推定するにあたり、新しい乗客流解析を提案する。

また、時隔調整、順序変更の方法を提案する。

そして、複々線区間において、運転線路変更と運休のどちらがよいのか明らかにする。

Train rescheduling of highly frequent operation on an urban quadruple track line after a large disruption

Masaki Fukuchi

Train rescheduling is an important task to recover a disordered train operation.

Train dispatchers are going by the experience and intuition. Thus, operators have requested assistance in the form of a computer aided train rescheduling program. In this laboratory, the system that proposes the train rescheduling plan that considers the operation only of a certain direction has been developed by evaluating from passenger's point of view.

In the present study, it enhances it to the system that can consider both directions in addition. Because it can consider a large disorder. So I propose new passenger-flow analysis. I propose train interval and changing train orders. And I show which train suspensions or changing running tracks have a good effect.

三次元磁束を考慮した大トルク永久磁石形同期機の設計と評価

佐藤 功一

今日、電動機は情報関連機器・産業機器・交通機関を始め多岐にわたって使用されている。電動機の中でも界磁用に磁力の強い希土類磁石を用いた永久磁石形同期電動機は、電動機単体で大トルクを出力し、変速機を省いた直接駆動が可能である。直接駆動用電動機は機械的接続不要、設計に自由度を持つ、保守が容易等のメリットを持つ。本論文で直接駆動における船舶推進用電動機を想定し、低速回転時に高い回転力密度が実現可能な試験機の設計と実験による評価を行った。直接駆動のメリットを活かすために、磁石を多極化し限られたスペースの中でコアや巻線を配置し、さらに量産化を考慮すると簡易な構造にする必要がある。これらを前提にして、大トルクを実現できるようなコア形状・巻線を含む簡易構造を示した。また、永久磁石形同期電動機において深刻な問題点となるコギングトルクの低減手法としてスキューを使用し、理論解析を行って実測値と大まかに一致することを確認した。大トルクを維持しつつ、さらなるコギングトルクを低減する手法として、コアと磁石の数の比：8極9コアモデルに注目し回転機に応用した。8極9コアモデルを応用した試験機における全体のコギングトルクは、スキューを用いたときと比較して100分の1以下まで低減可能であることを明らかにした。また、コア形状や巻線の巻き方に改良を加えたことにより回転力密度は約1.5倍向上した。

Design and verification of permanent magnet synchronous motor for high torque drive considering three-dimensional flux distribution

Kouichi Sato

Recently, the motor is used for the field of information, industrial, and so on. A permanent magnet synchronous motor (PMSM) that uses the rare earth permanent magnet can be realized high torque at low speed and driven directly by itself. The motor for direct drive has advantages of an unnecessary personally mechanical splice, freedom in the design, and easy maintenance. This paper says about verification by design and experiment of the prototype that realizes high torque at low speed assuming the motor for ship propulsion at direct drive. The number of magnets was increased to make the best use of the advantage of direct drive, the core and the winding were arranged in the limited space. Moreover, the theoretical analysis was checked by using the skew as technique to decrease the cogging torque that became a serious problem in PMSM and it was confirmed to agree to the actual measurement value approximately. As next step to decrease the cogging torque maintaining a high torque, the ratio of the number of the core and magnet was applied to the new machine. The entire cogging torque in the new machine that applied 8 poles and 9 cores model was to decrease up to 1/100 compared with the motor used the skew. Moreover, the force density has improved by about 1.5 times by improvement to how to roll the core shape and the winding.

都市交通用リニア誘導モータ二次レール設計のための準三次元動磁界解析

早山 和弥

リニア誘導モータは、直接駆動による粘着からの解放や車体の小型化によるトンネル断面の小型化が可能であるというメリットから都営大江戸線をはじめとするリニアメトロの駆動源として活用されている。

その問題点の一つは、縁効果や二次鉄心の渦電流損といった二次側の渦電流に起因する損失があることである。そのために力率や効率の悪化を招いてしまう。

そこで、渦電流分布を解析した上で二次側形状に変更を加えていく必要がある。しかし、従来の二次元解析では積厚方向の分布を解析することができず、三次元解析では離散化する次元が増えるため、計算時間が膨大になるという欠点がある。

そこで、進行方向に電磁界が正弦波状に変化するという仮定を立て、積厚方向と鉛直方向について離散化を行う電磁界手法を提案した。その上で、解析上の仮定を満たすためのモデルの簡略化、電磁基礎方程式の離散化を物理的な意味を考慮しながら行った。さらに、準三次元解析におけるスカラーポテンシャルの意味についても考察を行い、キルヒホッフの法則との対応関係について定式化を行った。

これにより、渦電流を考慮した準三次元解析を行うことが可能となった。

Designing of Reaction Plate of Linear Induction Motor for Urban Transit for Improvement of Thrust Based on 3-D Eddy Current Analysis

Kazuya Hayayama

Linear induction motor (LIM) is used for traction system of Linear Metro and HSST. On the other hand, there are problems which diminish efficiency and power factor of motor in secondary side.

For instance, "edge-effect" and eddy current loss of secondary core. Eddy current in secondary conduction plate should be analysed to improve these problems by reforming secondary structure. However, 2D electromagnetic analysis is unable to consider condition of cross direction. Besides 3D analysis costs too much time to calculate electromagnetic field on a practical level.

So this research proposed semi-3D electromagnetic analysis discretized cross direction and vertical direction assumption that electromagnetic field changes sinusoidally in moving direction. Simplified model is made and basic electromagnetic equation is discretized considering physical meaning. Relation of Kirchhoff's laws and scalar potential is formulated. As a result, we can analyse eddy current distribution by proposed method.

横磁束リニア同期モータの設計と制御

シンジュンソブ

1980年代から、物流システムや工場内搬送装置として用いられてきたリニアモータは、高推力化設計技術とセンサ、制御技術の進歩に伴い、工作機械の直動系や高速往復運動を必要とする分野などに広く用いられている。

リニアモータには様々な種類があるが、特に永久磁石を用いるリニア同期モータ(PMLSM: Permanent Magnet Linear Synchronous Motor)は、レアアース系磁石を用いることで、モータの小型化、大推力化、高効率化等を図ることができるというメリットがあり、産業分野で応用されるケースが急速に増えている。

産業分野で利用されているPMLSMには、使用条件・目的にもよるが、一般的に大推力、高位置決め精度(低ディテント力、低推力リップル)、小型、軽量などの特性が要求されている。特に大型ガラスなどの重たいものを運ぶためには、大推力をいう特性は設計上で重要なポイントになる。

そこで、本研究では大推力のための磁束集中形界磁を持つ横磁束形円筒リニア同期モータを提案し、その設計と評価を行った。

Proposal of a novel flux-concentrated type transverse flux cylindrical linear synchronous motor for high thrust

Shin Jung-Seob

Linear motors are being employed increasingly in industrial fields. Such direct devices offer many advantages over ball-skew drive, which result in a higher dynamic performance and reliability.

There are many types of linear motors including linear synchronous motor, linear induction motor and linear stepping motor etc. Especially, linear synchronous motor that uses permanent magnets (PMLSM) in the field side has contributed to the popularization in industrial fields because of the advent of rare earth permanent magnet, which results in high efficiency and compact size.

In general, characteristics required to PMLSM in industrial fields are high thrust, high positioning accuracy and simple structure etc. Among these characteristics, high thrust can be an important technical requirement to PMLSM when considering conveyance of heavy materials such as large glass.

I propose a novel flux-concentrated type transverse flux cylindrical linear synchronous motor to gain higher thrust. In this paper, the concept and advantages of the proposed model are introduced and its characteristics are both theoretically analyzed and numerically computed by field calculation using FEM.

低速大トルク永久磁石形同期電動機的设计 - コギングトルク低減とうず電流損失の低減 -

中村 太一

横方向磁束形永久磁石形同期電動機は低速で大トルクを出力できる。そのため機械的損失の低減や低騒音・低振動運転を可能とする直接駆動用モータとしての応用が期待される。

本研究室では船舶推進応用に注目し、その駆動用モータの開発を行ってきた。しかしコギングトルクと渦電流による熱の発生が大きな問題点であった。そこで本研究では、コギングトルク低減のために磁石数極数を考慮した設計を提案した。さらに渦電流損失低減のために、回転板をステンレスから導電率の小さい炭素繊維強化プラスチックに変更した。

***Design of low-speed high-torque Permanent Magnet Synchronous Motor
-Reducing cogging torque and loss by eddy current-***

Taichi Nakamura

Transverse flux type permanent magnet synchronous motors can produce large torque at low speed, so this capability is suitable to direct drive, which propulsion systems can reduce mechanical loss and drive in low noise and low vibration.

In our laboratory we focused the application to electric ships. Then in previous research a motor for direct drive for ships is developed. However there were two primary problems, one is cogging torque and the other is generation of heat by eddy current. Then in this research, we proposed the design which aimed to reduce cogging torque by considering poles-slots combination. And we proposed the disk made from carbon fiber reinforced plastic (CFRP) substituting for stainless to reduce loss by eddy current, because the conductivity of CFRP is much smaller than that of stainless.

可変速交流駆動電車における推定接線力およびすべり速度情報を活用した再粘着制御の有用性の研究

原 崇文

鉄道においてその推進には鉄車輪とレール間の粘着力を利用している。

しかし、粘着力に関係する現象としてしばしば発生する滑走・空転によって推進力が減少してしまうこと、車輪・レールの損傷を招くなど、この発生を防ぐことは大きな課題である。

そこで本研究では電気車の駆動に関わるこの滑走・空転現象に関して、超過角運動量に着目し、インバータ装置の制御の面から滑走・空転を最小限に抑え最大限の減速/加速を実現するための制御則の提案をした。

Readhesion control study on Electric Railways that uses information presuming adhesive information presuming adhesive force and information in slip velocity

Takafumi Hara

In these days, consideration for environment is rising all over the world. Furthermore, each country makes an effort on the reduction of greenhouse gas to achieve the target. For these environmental threats, Electric Railways are the most advantageous vehicle. They generate electricity and collect energy by using Induction Motor when they are braked. Currently, most of them equip with this brake. Therefore, their advantage for environmental threats is evident.

On the other hand, Electric Railways have problems. Compared with other Vehicles, their adhesive force are small when they accelerate. Particularly, in case of rainfall, dead leaves and snow slip cause. Generation of slip leads to energy dissipation, riding quality and break of rail. Therefore, it requires re-adhesion control to stop slip and adhere between rail and wheel.

It is important in the viewpoint that secures the acceleration not to cause the slip and to use adhesion phenomenon effectively in railways. I would like to examine the condition of causing the slip with adhesion control. On the other hand, it is known that the tractive coefficient is shown as a function at the slip velocity.

As a result, I proposed re-adhesion control based on excess angular momentum tracks.

回生変電所の段階的導入時における変電所の特性を考慮した回生ブレーキ有効活用ダイヤの提案

渡邊 央朗

近年の電気鉄道車両はブレーキ時に主電動機を用いて発電し、回収したエネルギーを同一供給電車線路内に存在する他の列車等に供給する電気ブレーキ、即ち回生ブレーキを用いている。このような車両であっても、従来の摩擦力による機械ブレーキと電磁気力による回生ブレーキが併用されている。これは回生ブレーキだけでは常用最大ブレーキ力を下回ってしまうからである。電気車の機械ブレーキは空気圧で制御されているため応答速度が遅い。ブレーキ力の源は摩擦力であるから、摩擦係数という環境に左右されやすい要素を含んでいる。さらに、機械ブレーキは保守に手間と費用がかかる上、摩擦の変動要素が原因で乗り心地を悪化させたり滑走を誘発したりする問題もある。

本論文では、回生ブレーキの使用と PWM 変電所の機能が協調するよう運転間隔の最適化を行うことによって、回生失効による機械ブレーキ負担増加量を低減する方法を示した。

The best use of regenerative brakes by adjusting train intervals in DC-electrified railway system

Hiroaki Watanabe

A recent electric train uses electric brakes which convert mechanical to electric energy and send the regenerated energies to other trains on the same route. These brakes are called regenerative brakes. The regenerative brakes have to be used with conventional mechanical brakes using frictional force, the regenerative braking force is less than the simultaneous service braking force required at high speed.

The response of mechanical brakes is much slower than electric brakes. The source of mechanical braking force is friction, which strongly depends on environment. A change of frictional force worsens ride quality and causes slip. Furthermore, mechanical braking force costs time and money for maintenance.

In this research, the author proposes to reduce mechanical brakes usage by doing headway optimization based on PWM substations and regenerative brakes.

ヒトの構造的特徴・基本動作と二関節筋を考慮したロボットの四肢の運動制御

福正 博之

ロボットの四肢の運動制御簡単化のために、近接する二つの関節にまたがり関節を同時に駆動させる二関節筋に着目した研究がある。先行研究では、上肢を固定した状態で手先から発する力の方向と各筋肉の筋電位の同時測定を行い、先端で力を発する際に二関節筋と一関節筋がそれぞれの筋力を簡単に制御していることが示された。

これは手先位置から各関節の角度を求めて逆運動学を計算し、関節トルクを制御する従来のロボット工学と異なり、生体はもっと簡単な方法で運動を制御しているのではないかという分析につながっている。

本研究では、静止時の力特性の理論計算から、2リンクの長さが等しい条件と基本動作である支点と先端を結ぶ方向への力を発することを考えたした場合に、一関節・二関節の協調的同時駆動が簡単な力制御の実現に役立っていることを証明した。また、壁を押したり垂直落下から着地するような、先端が支点から真っ直ぐに伸縮する運動に必要なトルクの理論計算を行った。力制御と同様にリンクの長さを等しくすると、運動に必要な各トルクの変数が高々二次の簡単なものであり、伸縮運動時のトルクの非線形性が簡単であることを示した。これより、力制御と運動制御を重ね合わせた伸縮運動の制御を提案し、実験を通じてその特性の評価と問題点の抽出を行った。

Motion control of a robot limb taking advantages of structural characteristics, fundamental motion and bi-articular muscle of a human

Hiroyuki Fukusho

Research for motion control of a robot taking advantages of a bi-articular which is connected between adjacent two joints and rotates those joints simultaneously is advancing. It has been obvious from the previous research that force control at the tip point of an arm and a leg is defined by easy muscle force control. It is actualized by simple proportional distributed control.

This means that our life might not use a complex calculation like inverse kinematics using the information of the position of tips and each joint angles but use easy control like above proportional distributed actuator control. In this research, it has been proven that cooperative simultaneous drive of mono- and bi-articular muscles of a human is useful for the force control of one direction which is a straight line between the supporting point and tip point, when each length of two link is same value. Furthermore, joint torques during the straight line stretching motion has taken into account.

It has been shown that the characteristics of rotational torques correspond to mono- and bi-articular muscles have easy nonlinearity based on quadratic functions of the valuable numbers. Finally, control system of a stretching motion using superposition of above force control and dynamic motion control has been proposed, and characterization and experimental extraction by experimental verification using test machine has been done.

運動学的冗長性・筋冗長性を有するマニピュレータの特性解析と冗長自由度を最大限活用する運動制御

杉本 貴大

ヒトを始めとする生物は膨大な数の関節を有しており、それに加え、それぞれの関節を複数の筋を協調させることで駆動させている。この意味で生物は運動学的冗長性、筋冗長性という2つの冗長性を有していると言える。生物はこれらの冗長性を生かして、様々な環境下でものを掴む、投げる、走るといった巧みな動作を実現していると考えられる。

本研究では、運動学的冗長性、筋冗長性を持つマニピュレータがどのような特徴を有しているのかを数理的に解明し、生物の筋配列の合理性を解明するとともに、これらの冗長性を利用した巧みな運動制御を行うことを目的としている。工学的にはマニピュレータの構造に冗長性を持たせ、マニピュレータの性能を向上させようとするものである。現在のところ、線形計画法を利用してマニピュレータの最大出力分布を求める方法を考案すると同時に、冗長自由度を有するマニピュレータの構造と信頼性との関係を定量的に評価する方法を導いた。これらの方法を用い、ヒト下肢が抗重力運動に優れた先端出力分布を有していることを示した。

Characteristic Analysis and Motion Control Utilizing Redundant Degree of Freedom of a Manipulator with Kinematic Redundancy and Actuation Redundancy

Takahiro Sugimoto

Human beings not only have an enormous number of joints, but also drive one joint by many muscles. In this sense, human beings have kinematic redundancy and muscle redundancy. It could be due to these redundancies that we are able to realize various motions like grasp, throw and run dexterously. On the other hand, it is common for conventional robot manipulators to have not so many joints and drive one joint by one motor. But, there are some advantages of equipping industrial robot manipulators with kinematic redundancy and muscle redundancy. The advantages are increasing the reliability, avoiding singular configurations, avoiding obstacles, minimizing the necessary energy and so on.

In our research, methods for maximizing output force and acceleration of a manipulator with kinematic and muscle redundancy by linear programming method and for calculating reliability of a redundant manipulator have been derived. And the maximum output force distribution and reliability distribution of a human lower leg have been calculated. Rationality of human lower leg is confirmed from these distributions.