

## 4. 研究現況

## 4.1 永久磁石型同期電動機

**波力発電用永久磁石界磁リニア同期機の電気出力最大化制御**

下田隆貴

波力エネルギーを活用するために、様々な方式の波力発電が考案されており、特に振動水柱型、可動物型そして越波型などは他に比べて研究開発が進んでいる。本研究では可動物型の一つであるポイントアブソーバ式を扱う。発電機としては永久磁石リニア同期発電機 (Permanent Magnet Linear Synchronous Generator, PMLSG) を扱う。

波力発電の研究開発黎明期から、一浮体式のポイントアブソーバのための複素共役制御は多く研究されている。しかし現実に実証試験の段階まで進んだほとんどのポイントアブソーバは二浮体を用いたものである。

二浮体の研究については、機械出力を最大化する複素共役制御は提案されているが、肝心の電気出力を最大化する複素共役制御は未だ導出されていないという問題がある。

また制御時の系の安定性を考慮した研究は多くなく、特に系の安定性を陽に考慮した複素共役制御の研究は少ない。そのため制御時に系の安定性が十分に確保されていないという問題がある。

本論文では以上の二つの問題点を解決するような制御法を提案し、シミュレーションにより提案手法の有効性を示す。

***Control strategy maximizing electric output power of permanent magnet linear synchronous generator for wave energy conversion***

**Takaki Shimoda**

Most of point absorber wave energy converters in the ocean development stages are two-body and should be modeled as two-body system. In many researches, however, control strategies only for one-body converters were investigated. Furthermore, stability of closed loop was often neglected. In this paper, a stable impedance control to maximize electric output power of a two-body heaving point absorber is proposed. The numerical calculation results show superiority of proposed control strategy from the viewpoints of stability and electrical output power.

## 波力発電用リニア同期発電機の特性試験と発電量を最大化する制御法

郭 瑞娟

海洋発電への応用を想定した永久磁石式リニア同期モータ等価回路同定のための試験法を論ずる。電機子抵抗や内部起電力は従来法に準拠した方法で測定可能だが、d 軸、q 軸インダクタンス測定に短絡試験法適用できない。ここでは可動子を固定し可変周波数の単相交流電源を用いたインダクタンス測定法を提案し、数値算、実験例を用いて詳細を説明する。

*Characteristic Test Method and Control for Maximizing Power Generator of a Linear Synchronous Generator  
Applied to an Ocean Power Plant*

GUO RUIJUAN

Armature resistance and electromotive force can be identified by conventional DC test and no load test. However, d-axis and q-axis inductances shall be measured by a new method. Authors propose to apply single-phase small AC-voltage to three phase winding to identify the two inductances by fixing mover to certain position. The proposed method will be explained in detail by numerical and experimental case studies.

## 4.2 磁気浮上

*Electromagnetic Levitation Control with Sensorless Large Air Gap Detection  
for translational Motion Application Using Measured Current-Ripple Slope*

Salman. Ahmed

In this research, emphasize is put on developing a cost effective and affordable magnetic levitation module for translational motion applications. Since air gap sensors form a major portion in the total cost of the system, removing it can allow for drastic reduction in cost. Therefore, sensorless magnetic levitation for large air gap translational motion is investigated here. Most of the research in this field has been for magnetic bearings whose system characteristics and control requirements are different from a translational moving vehicle. An obvious difference is the range of operational air gap. Furthermore, the quality of magnetic materials, in terms of laminations, saturation, etc. used is also different. Therefore, applicability of the developed sensorless methods for magnetic bearings to large air gap applications needs to be investigated. A new method has been proposed that makes use of the high resolution-single current-ripple slope detection (either positive or negative) to compensate for the duty cycle variation by exactly controlling the timings of the gate signals for a switching amplifier without the use of a voltage sensor or a dedicated sense cycle as was done in recent preceding works. Furthermore, due to temperature change, the change in resistance which induces steady state error in air gap detection is compensated by simultaneously estimating coil resistance. Stable levitation using the detected air gap signal as control feedback has been demonstrated experimentally in our laboratory.

## 4.3 非接触給電

## 電気鉄道の静止形非接触集電システムの提案と車上コイルの位置センサレス補正

羅 嗣罡

非接触給電は、伝統の鉄道給電方式より、低コストと高安全性のメリットがある。この研究には、鉄道用停車中非接触給電装置における送電・受電コイルの相対位置をセンサレスで推定する方法について提案する。この相対位置推定法は非接触給電コイルの位置制御に応用することができるもので、シミュレーションによって有用性を確認した。そして、一次及び二次コイル間の磁気結合情報を用いたセンサレスコイル位置検出方式に基づいて、電気鉄道非接触給電のコイル位置ずれ補正をする模擬実験装置を製作し、基本的な測定を行った。さらに、ギャップ偏差に対する耐性を向上させる位置検出方法を考案した。位置決めとギャップ耐性改善の性能が検証された。

*A Proposal of a Stationary Wireless Power Transmission System in Electrical Trains and a Sensorless Positioning Control of On-board Coils*

LUO SIGANG

This paper studies WPT system for electrical trains. It discusses about the current drawbacks of using catenary&pantograph system for railway power supplying and mentions the merits of using WPT as a solution. About stationary WPT system, this paper mentions one of the biggest problems for its stable and efficient operation, that is coil misalignment. Then presents a coil position control system which can be used in railway applications, as a solution. For this coil position control system, as sensorless method to detect the position of coils is presented, which also shows a strong tolerance to vertical deviation of gap. As the result, the presented system is able move coils to the expected position with error less than 6.25% coil length, when gap deviation happens within (-50%~+100%).

複数送電コイルを有する走行中非接触給電システムの特性解析と送電側電圧電流情報による効率最大化制御

成田 大輝

非接触給電システムは、配線が困難、あるいはその煩雑性を取り除きたい場面における給電手法として期待され、研究開発が行われてきた。

走行中非接触給電システムへの応用において、送電側を大きな1つの長縦方向距離のもののみとすると、受電側がない場所に送電側の高周波電流を流すこととなり、銅損に伴う損失の増加や、漏洩電磁界による周囲への影響が発生しうる。そこで、受電側が存在する場所のみ電流を流すことを可能とする、送電側を複数のものへ分割し、そのうちいくつかを並列して利用するシステムについて検討を行った。

本研究では、複数の送受電コイルが存在するシステムを、単一送受電コイルのシステムとして計算する手法や、それを利用した効率の最大化条件を導出した。複数受電コイルが存在する場合、すべての負荷インピーダンスが等しいこと、また複数送電-単一受電システムにおいて、送電側の電圧比を相互インダクタンス比とするとき、最大伝送効率となることを理論的に示した。

そして、走行中給電システムへの応用を考慮に入れ、複数送電-単一受電システムにおける伝送効率や受電電力の、送電側電圧比や負荷抵抗値との関係について、数値計算及び実験において検証を行った。その結果、2送電-1受電の非接触給電システムにおいて、電圧比の伝送効率へ与える影響が強いこと、負荷インピーダンスが高い場合においてその影響が緩和されることを示した。

さらに、複数送電-単一受電システムにおける効率最大化制御法として、位置センサや相互インダクタンス値の情報を利用しない、送電側の電圧・電流情報を利用した電圧比の制御法を提案し、受電側が静止している場合、及び動いている場合について、回路計算による検証を行った。その結果、受電コイル固定時は、数回程度の計算で送電側の電圧比が相互インダクタンス比へ、また受電コイルが低速で移動している、すなわち計算する場面ごとの相互インダクタンス変動が小さい場合については、送電側電圧比を相互インダクタンス比へ追従させることが可能となることを示した。

## 4.4 鉄道の省エネルギー化

## 鉄道電力負荷低減に向けた運行計画最適化と列車群運転電力制御の研究

渡邊 翔一郎

研究ではエネルギーの観点から持続可能な交通手段(Sustainable transportation system)の確立に向けて、主に都市鉄道の運行計画の設計と列車群の運転電力制御手法について分析を進めている。列車群の運転電力制御手法では、回生電力量を最大化する電力制限ブレーキを提案し、実務への適用を考慮した支援システムや運転曲線を設計、その効果を現車試験で検証している。この手法の最大の特徴は、与えられた駅間走行時分で回生電力量を最大化できることにある。つまり既存のダイヤに適用可能であることから、煩雑なダイヤを有する鉄道事業者にも適用可能な手法である。運行計画では少子高齢化社会を見据えた高齢者への着座サービスと生産年齢旅客の速達性を両立するため各駅・路線の旅客移動断面(OD 断面, Origin and Destination)を推定し優等列車を積極的に導入する運行ダイヤの最適化問題を扱っており、求解には最適解の保証が得られる混合整数計画法を用いている。ここでの狙いは、高齢者は各駅停車列車を、生産年齢旅客は優等列車を利用する“住み分け”を OD 断面の分析で実現し、優等列車の導入による旅客輸送エネルギー(kWh/人/km)を低減することである。そしてこれら 2 つの手法を組み合わせ、回生電力量を最大化する運転曲線を前提に、各駅間の走行時分を調整する運行計画により消費エネルギー低減を図る研究を進めている。ケーススタディとして、理想的な運転曲線を再現できる ATO(Automatic Train Operation)を有する路線を選定し現車試験の準備を進めている。また、車輛機器の性能が向上した場合の効果、特に現在都市鉄道で普及しているリニア地下鉄の効果を推定する数値計算アルゴリズムの設計を進めており、磁気吸引力や端効果の電磁気学現象の再現も考慮し、走行抵抗に加味している。現在はこれらのケーススタディの検証に向けた現車試験の検討を深度化するとともに、鉄道電力負荷を平準化し系統から見た消費電力量を低減する列車群電力制御とその運行モデルを数値計算で分析している。

*Research on Optimisation of Scheduling and Running Power Control of Train Groups  
for Power Load Reduction on Railway Systems*

Shoichiro Watanabe

In this study, a method of scheduling and running power control of train group are analysed in order to contribute sustainable transportation systems .In running curve design, power-limiting braking is considered because this braking method can maximise regenerative energy. This running curve design involving power-limiting braking can apply for conventional scheduling easily because this design method has a restriction of keeping running time. This means that this design method can maximise regenerative energy in restriction of conventional scheduling, and this method has been experimented on on-track test by using on-board computers and assistance interface devices in order to apply for an actual driving. In scheduling design, I propose the estimation of OD (Origin and Destination) of passengers and installing rapid service aims for reducing energy consumption and congestion. This scheduling design is one of the optimization problems so that Mixed Integer Programming method is considered. The background of this motivation has an relationship between rapid service for workers and local service for elders in declining birth rate and the graying of society.To combine these two design methods, I analyse an energy-saving effect of scheduling based on running curve with power-limiting braking. I prepare a case study model involving ATO (Automatic Train Operation) for on-track test because ATO system has an advantage of driving operation. In addition, I

## 2015 年度年報 4. 研究現況

analyse an efficiency of enhancing hardware of rolling stocks, focusing on linear metro. The end effect and magnetic attractive force are considered because these has an effect on running resistance of rolling stocks. Now I am preparing and discussing in detail for on-track test. In addition, I am building out the calculation systems to analysis the electric-load leveling in electric railway.

省エネのための新しいパラメータ化法に基づく最適な列車運転曲線の設計法

ドアン ヴァン ドウック

環境問題への関心の高まりにより、鉄道輸送に対する車両における消費エネルギーの減少を求める要求は年々増加している。したがって、効率的にエネルギーを使用する際の戦略がさらに重要になってきており、総エネルギー消費量を削減する列車の運転方法に関する研究もその戦略の中で必要である。消費エネルギーは、運転曲線に依存する関数としてモデル化することができる。そのため時間およびモータ駆動力といった、所定の制約下において最適な運転曲線を求めることにより、消費エネルギーを最適化することができる。しかし、駅間走行時分やモータ駆動力特性といった列車が持つ非線形特性によって求解が困難な走行曲線とエネルギー消費量の関係を実証する費用関数は非常に複雑である。このため、このエネルギー最適化問題に対する解を容易に求めることはできない。本研究では、我々は、実行中の曲線の新規パラメータ法に基づくコスト関数と制約関数を得るために、(1) モデル化方法を研究に焦点を当てること、および(2) 効果的な最適化手法最適化問題を解決する。上記の両方の問題が解決できれば、ドライバのガイダンス・システムや自動列車運転 (ATO) システムは、事前に計算された走行曲線を利用することができる。

*A Design Method of Running Profiles of Electric Train Minimizing Required Capacity of Energy Storage Devices  
(--For a Train fed by Intermittent Contactless Power Transmission--)*

Doan Van Duc

Railway transportation is facing increasing pressure to reduce the energy demand of its vehicle due to increasing concern for environment issues. Therefore, strategies in effectively using energy are becoming even more important, and studies on operation method of train to reduce the total energy consumption are necessary, also. Since the total energy consumption can be modeled as a function depending on the running curve, it is possible to optimize the total energy consumption by searching an optimal running curve, given constraints of running time and motor force. However, the solution for this energy optimization problem is not easily obtained because the cost function demonstrating the relationship between the total energy consumption and the running curve is very complicated due to the nonlinear model of train, and because there are also nonlinear constraints given such as running time and motor force, etc. Therefore, in this research, we focus on studying (1) Modelization Methods to obtain the cost function and the constraint function based on a novel parameterization method of the running curve, and (2) Effective Optimization Techniques to solve the optimization problem. If both of above problems would be solved, Driver Guidance systems or Automatic Train Operation (ATO) systems are able to take advantage of pre-calculated running curve.

*A study on improving energy-saving operation in DC electric railway systems*

**Warayut Kampeerawat**

Nowadays, electric railway system is an efficient way of transportation for big cities around the world. Energy-saving operation is interesting point of research on DC railway systems. The utilization of regenerative energy is one of the key for improving energy-saving strategy. This study focuses on applying optimization techniques to adjust speed profile and timetable of railway operation so that the recovery energy from braking operation can be used more effectively by another trains. The running time, dwell time, and headway are selected as variables for the optimization problem. The case studies of Bangkok Mass Transit System in Thailand (750-Vdc with third-rail feeding system) are performed by considering multi-trains operated on double track systems. The evaluation of energy-saving will be estimated by simulations of train movement and corresponding power flow calculation based on practical data.

**快速列車導入時のエネルギー評価と旅客総旅行時間最適化の持つ意味**

美浦 健

本研究では快速の導入による消費エネルギー効果とその要因について検討する。その上で通過駅の選択による省エネルギー効果の変化について検証した。その結果、快速導入ダイヤにおける省エネルギー効果は快速列車が通過する駅間の路線状況とその際の乗車人数に依存することを確認した。また、快速導入時の旅客総旅行時間最適化はエネルギーの観点でも省エネルギー効果が大きい手法であることを明らかにした。

*Evaluation of Energy Consumption by Installing Rapid Service and Analysis of Optimized Total Traveling Time of Passengers*

**Takeru Miura**

In this paper, energy consumption of entire train sets is analyzed to show the energy-saving effect when total traveling time of passengers is minimized by installing rapid trains. Results show that energy-saving effect by installing rapid trains depends on the number of boarding passengers and railway conditions, such as speed limits and gradients. In addition, it is confirmed that optimization of traveling time not only contribute the railway service but also save energy when traveling time is shortened by installing rapid trains.



4.5 ロボットの自立制御

*Closed form minimum infinity-norm resolution for single-degree kinematically redundant manipulators*

**Didier Quirin**

Redundant systems are of interest in engineering because they bring additional capability for a task completion, allowing the system to perform sub-tasks or to improve in performances. However, this also means that an extra degree of complexity is added to its resolution. For this purpose, proposed resolution schemes are classically based on the 2-norm minimization, also called pseudo-inverse, whose popularity stems from its easy analytical resolution, but suffer from not considering physical constraints, like input bounds. To tackle this issue, the infinity-norm resolution has been proposed, which determines a minimum-effort solution and take into consideration individual magnitudes and offering the full physically realisable outputs. Despite its guaranteed merits, it has only been considered for a few, low-order system because of its lack of analytical tractability. This paper proposes a novel approach on the minimum infinity-norm resolution for single-degree systems, which represent a large part of the most popular redundant configurations. This approach offers a closed-form solution allowing convenient computation and a description of the solution based on parameters of the system. Implementation of this new method is simulated on single-degree kinematically redundant systems to show the superiority of infinity-norm resolution over 2-norm resolution.