



エレベータ運行計画問題への数理的アプローチ

稲元, 勉

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2008-03-05

(Date of Publication)

2009-08-04

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙2981

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2002981>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏 名 稲元 勉
博士の専攻分野の名称 博士（工学）
学 位 記 番 号 博ろ第 290 号
学位授与の 要 件 学位規則第 5 条第 2 項該当
学位授与の 日 付 平成 20 年 3 月 5 日

【 学位論文題目 】

エレベータ運行計画問題への数理的アプローチ

審 査 委 員

主 査 教 授 玉置 久
教 授 上原 邦昭
教 授 田浦 俊春

研究が示された。このクラスの問題では、計画期間内に到着する客の情報がある定常な確率分布に従っており、その確率分布が既知である。この前提のもとで、離散時間モデルの上でエレベータシステムの状態遷移確率が定式化され、ホール呼びの待ち時間の期待値を最小化することを目的とするエレベータ運行計画問題の近似問題が、マルコフ決定過程としてモデル化された。ここで、エレベータシステムの状態遷移確率の定式化が、システムの振舞いを確率的とする要因を状況入力として考慮し交通流に関する情報からそれらの生起確率を計算すること、およびシステムの状態遷移関数を定式化することにより可能であることが示された。続いてマルコフ決定過程に対する一般的な解法として動的計画法が導入され、その1手法である報酬反復法の構成が示された。その計算式から、報酬反復法の適用には状況入力空間に渡る多数回の繰返しが必要であることが指摘され、生起確率の低い状況入力を考慮しないことにより計算が効率化された動的計画法（以降、DPRM: Dynamic Programming on Reduced Models）が提案された。加えて、DPRMによる準最適なコスト関数と、報酬反復法による最適なコスト関数との差は、考慮されない状況入力の生起確率の総和に比例する範囲に抑えられることが示された。計算例では、小規模なエレベータシステムへ異なる交通流に従って客が到着する2つの問題が考慮され、どちらに対しても、動的計画法（報酬反復法およびDPRM）による最適なかご割当て方策は、CDと比べて統計的有意に有効であると考えられる結果が示された。さらに、DPRMは、報酬反復法と同程度に有効なかご割当て方策の基となるコスト関数を、より短い時間で計算可能であることが示された。

第5章では、クラスIIIのエレベータ運行計画問題を対象とした研究が示された。このクラスの問題では、計画期間内に到着する客は定常な確率分布に従っているが、その分布は未知であるという、多くの実際的な研究において考慮されている前提が課せられている。そのような前提のもとで、かご運行計画ルールがどのようにモデル化されているかという点から、既存研究のいくつかが分類された。それらのモデルのうち、最適なかご運行計画手法を表現しうるものとしてルールベースが選ばれた。これを構成する単位ルールは、(i) 複数の状態において用いられる、(ii) ある状態において使用されるか否かが他の単位ルールに依存しない、という性質を備えることが肝要であると指摘され、これらを満たしうるものとして、他の決定

との相対的な特徴により決定を選択する単位ルールが提案され、**such-that** ルールと呼ばれた。このような単位ルールから構成されるルールベースは、ある状態から計算される指標の重み付け和を最小化する決定を与えるルール（**arg-min** ルールと呼ばれた）の一般化として捉えることが可能であり、**arg-match** ルールと呼ばれた。計算例では、このようなルールベースにより有効なかご割当てルールの符号化が可能であるかが調べられた。具体的には、**such-that** ルールがクラシファイアの前件部と似ていることから、クラシファイアシステムを獲得するために広く使用されている遺伝的機械学習が構成され、その適用により交通流に応じたかご割当てルールが求められるか否かが調べられた。客が異なる3種類の交通流に従って到着する3つの問題を対象として、それぞれ遺伝的機械学習の適用によりルールベースが獲得され、それらのうち2つがCDよりは有効、かつ**arg-min** ルールと同程度に有効であることが示された。また、獲得された3つのルールベースを単純に連結して作成されたルールベースの3つの問題に対する有効性が、個別のルールベースに比べてあまり劣らないことが示され、前述の性質(ii)が満たされていることが示唆された。

第6章では、それまでの章の総括が示された。続いて、今後の課題として、理論的研究と実際的な研究の隔たりを、前者をより実際的な問題へ適用できるように、後者をより数学的にエレベータ運行計画手法を取り扱えるように拡張することで、狭めることが挙げられた。その次の課題として、実際的な研究において、最適なエレベータ運行に対する有効性が問題の規模に依存しないエレベータ運行を計画しうる手法の構成が挙げられた。また、それらとは並行する課題として、1つの例題へ第3章、第4章、第5章で構成された手法をそれぞれ適用し、その結果を調べる事が挙げられた。

氏名	稲元 勉		
論文 題目	エレベータ運行計画問題への数理的アプローチ		
審査 委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教授	玉置 久
	副 査	教授	上原 邦昭
	副 査	教授	田浦 俊春
	副 査		
	副 査		

印

要 旨

本論文は、建物における階床間移動手段として一般的であるエレベータシステムを対象とし、その効率的な運行を目的とするエレベータ運行計画問題の解決を目標とする、数理計画的アプローチに根ざした研究を示すものである。

本論文は6つの章から構成される。まず第1章では、本論文に示された研究を始めるに至った背景として、これまでの知見が用を成さない新奇なエレベータシステムの登場や熟練者の減少により予見される、ルールベースを漸次的に改良していくというこれまでのアプローチの限界が示された。これを解決するためのアプローチとして、最適性に主眼を置き、小・中規模なエレベータ運行計画問題を最適化問題としてモデル化し数理計画法を適用する理論的研究と、最適性よりも適用可能性に主眼を置き、大規模なエレベータ運行計画問題への適用を前提とした実際的な研究とを区別し、前者の上では適用可能な規模の向上と知見の蓄積を、後者の上では前者の上で蓄積された知見の利用可能性の向上を図るというアプローチが提案された。続いて、本論文の目的が、理論的研究を進めること、およびその結果との接続性に留意して実際的な研究を進めることにあるとして示された。

第2章では、エレベータシステムを構成する主要な要素が列挙され、その組合せによるエレベータシステムの分類、および本論文で対象とされる一般的なエレベータシステムが述べられた。そのようなシステムを対象としたエレベータ運行計画問題の目的関数および決定変数が明示的に記述され、またその大きな特徴として、確率的に振舞うシステム利用者(以降、客)が形成する交通流による影響の大きさが指摘された。エレベータ運行計画問題の解決が困難である事由として、客の確率的振舞いによる情報の不確定性に加えて、決定変数の多さ、エレベータシステムの挙動の複雑さ、そして、乗車(降車)サービスを待っている客がホール(かご)呼びの背後に隠されるという部分観測性が挙げられた。続いて、これらの困難を回避しうるように構成された、現実のエレベータシステムの運行に利用されている手法が説明された。次に、交通流をスケジューリング環境とみなし、エレベータ運行計画問題がリスケジューリング問題の枠組みで捉えられ、既存のエレベータ運行計画手法がその中に分類された。そして、エレベータ運行計画問題のモデル化が交通流の違いに大きく依存することから、交通流に関する情報の利用可能性によってエレベータ運行計画問題がクラス分けされ、クラスI、II、IIIが基本的なクラスとして以降の章で取り扱われるものとして選択された。

第3章では、クラスIのエレベータ運行計画問題を対象とした研究が示された。このクラスの問題では、計画期間内に到着する客の到着時刻、出発階床、目的階床が既知である。この前提のもとで、エレベータ運行計画問題が静的最適化問題としてモデル化され、それを対象とした分枝限定法の一構成およびその計算例が示された。その構成では、柔軟な適用が可能である/問題に関する先験知識を埋め込むことが容易であるという分枝限定法の特長が、エレベータシステムの時間モデルが離散であるか、連続であるかに依存しない/ある部分問題から最適解が得られないことを判定し、早い段階でその限定が可能である、という形で利用されていることが示された。小規模な問題を対象とした計算例により、1つのエレベータ(以降、かご)の運行計画に広く使用されているヒューリスティクス(以降、SC)が最適なかご運行にあまり劣らないかご運行を平均的に生成するという意味で有効であること、および、ホール呼びへかごを割り当てる基本的なヒューリスティクス(以降、CD)とSCを組み合わせたかご運行計画

法(以降、CDSC)があまり有効でないことが示された。また、CDSCによるかご運行と分枝限定法による最適なかご運行を比較することで、CDSCの改良に資すると期待される知見が示された。

第4章では、クラスIIのエレベータ運行計画問題を対象とした研究が示された。このクラスの問題では、計画期間内に到着する客の情報がある定常な確率分布に従っており、その確率分布が既知である。この前提のもとで、離散時間モデルの上でエレベータシステムの状態遷移確率が定式化され、ホール呼びの待ち時間の期待値を最小化するとエレベータ運行計画問題を近似した問題が、マルコフ決定過程としてモデル化された。ここで、エレベータシステムの状態遷移確率の定式化が、システムの振舞いを確率的とする要因を状況入力として考慮し交通流に関する情報からそれらの生起確率を計算すること、およびシステムの状態遷移関数を定式化することにより可能であることが示された。続いてマルコフ決定過程に対する一般的な解法として動的計画法が導入され、その1手法である報酬反復法の構成が示された。その計算式から、報酬反復法の適用には状況入力空間に渡る多数回の繰返しが必要であることが指摘され、生起確率の低い状況入力を考慮しないことにより計算が効率化された動的計画法(以降、DPRM: Dynamic Programming on Reduced Models)が提案された。加えて、DPRMによる準最適コスト関数と、報酬反復法による最適コスト関数との差は、考慮されない状況入力の生起確率の総和に比例する範囲に抑えられることが示された。計算例では、小規模なエレベータシステムへ異なる交通流に従って客が到着する2つの問題が考慮され、どちらに対しても、動的計画法(報酬反復法およびDPRM)による最適なかご割当て方策は、CDと比べて統計的有意に有効であると考えられる結果が示された。さらに、DPRMは、報酬反復法と同程度に有効なかご割当て方策の基となるコスト関数を、より短い時間で計算可能であることが示された。

第5章では、クラスIIIのエレベータ運行計画問題を対象とした研究が示された。このクラスの問題では、計画期間内に到着する客は定常な確率分布に従っているが、その分布は未知であり、多くの実際的な研究において対象とされている。これらの研究と同様の前提のもとで、かご運行計画手法がエレベータシステムの状態を決定へ写すディスプレイ・ルールとしてモデル化され、さらにディスプレイ・ルールの背景にどのような仕組みを考慮するかにより、既存のかご運行計画手法のモデルが分類された。それらのモデルのうち、最適なかご運行計画手法を表現しうるものとしてルールベースが選ばれた。これを構成する単位ルールには、(i) 複数の状態において用いられる、(ii) ある状態において使用されるか否かは他の単位ルールに依存しない、という条件が必要であると指摘され、この要件を満たしうるものとして、ある特徴を持つ決定を表しうる単位ルール(such-thatルール)が提案された。このような単位ルールから構成されるルールベースは、ある状態から計算される指標の重み付け和を最小化する決定を与えるルール(arg-minルール)の一般化として捉えることが可能であり、arg-matchルールと呼ばれた。計算例では、このようなルールベースとしてのモデル化の、理論的研究との接続性に関する有効性を調べるための一歩として、そのルールベースにより有効なかご割当て手法の符号化が可能であるかが調べられた。具体的には、such-thatルールがクラシファイア・システムの前件部と似ていることから、クラシファイア・システムを獲得するために広く使用されている遺伝的機械学習が構成され、その適用により交通流に応じたかご割当てルールが求められるか否かが調べられた。客が3種類の異なる交通流に従って到着する3つの問題を対象として、それぞれ遺伝的機械学習の適用によりルールベースが獲得され、それらのうち2つがCDよりは有効、かつarg-minルールと同程度に有効であることが示された。また、それらを単純に連結して作成されたルールベースの3つの問題に対する有効性が、個別のルールに比べてあまり劣らないことが示され、前述した要件(ii)が満たされていることが示唆された。

第6章では、それまでの章の総括が示されている。今後の大きな課題として、理論的研究と実際的な研究をつなぐ軸を具体的に構築することが挙げられた。このためには、理論的研究として扱っている問題の規模の向上、およびより数理的な実際的な研究の取扱いが必要であることが指摘された。

以上のように、本研究は3種類の実験的なクラスを対象として、エレベータ運行計画問題への数理的アプローチを展開し、その有効性・可能性を確認するものである。また、これらの結果より、様々な知見も得られており、本研究は、エレベータシステム分野のみならず、広くシステム工学・知能情報学の分野における価値ある集積であると認められる。よって学位申請者の稲元勉は、博士(工学)の学位を得る資格があると認める。