

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282120

研究課題名(和文) 広域災害時の救援救助活動を支える空港運用最適化モデルの開発と効果的運用方策の検討

研究課題名(英文) Study on Effective Airport Operations for Disaster Rescue Activities by Simulation Models of Airport Operations

研究代表者

轟 朝幸 (TODOROKI, Tomoyuki)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号：60262036

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：大災害発生時に被災地やその周辺の空港は、消防ヘリや自衛隊機などの多種多様な航空機による救助・救援活動の拠点となり、日常とは大きく異なる空港運用が求められる。本研究では、東日本大震災での被災地における空港運用の実態と課題を客観的分析と現地調査により明らかにした。それら調査結果を参考に、災害時の空港運用に関するシミュレーションモデルを構築し、空港での航空管制の方法や受入機数制約などについて分析した。以上の結果から、運用方法によってヘリによる救助人数が大きく異なることなどが明らかになり、空港がより効果的な航空機活動を支援するために、災害発生時の空港運用方法について事前の検討と準備の重要性を指摘した。

研究成果の概要(英文)：During the initial stage of a disaster, aircraft operate intensively and simultaneously use several airports as bases, given their mandate to promptly perform their duties. During the Great East Japan Earthquake, aircraft primarily civilian and government helicopters used airports in disaster area as bases immediately after the disaster struck. These aircraft performed tasks such as information gathering, emergency rescue, and personnel and goods transport. In this study, we interviewed personnel in the organizations involved in operating these aircraft and airports during the disaster. Further, we analyzed optimal airport operation in disaster area by simulation models. We present our findings and detail the role of an airport as a disaster management facility and the challenges faced by an airport during a disaster.

研究分野：交通計画、空港

キーワード：空港 救助・救援 危機管理 減災

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では、震災発生直後より自衛隊を始め官公庁や民間ヘリなどあらゆる運用主体の航空機が被災空港に飛来し、情報収集、救急救助、人員輸送、物資輸送等の活動を行い、空港が防災拠点として有効に活用できることが示された。これらの航空機活動は空港を拠点として活動するものがほとんどであるが、震災直後の空港では、多くの航空機の集中による駐機スペース不足、航空燃油不足、支援物資等の空港内での滞留、関係機関間の情報共有・連携・統一的意思決定の不足などの課題が生じた。これらの現状と課題を詳細に解明し、今後の災害に備えることは不可欠である。

申請者らは、航空政策研究会 H23 年度研究プロジェクトとして実施した『災害時における多様な航空機活動を支える空港運用のあり方に関する研究 - 東日本大震災の空港利用実態調査を踏まえて -』において、被災地空港においては通常の6~10倍の離発着があり、それらを受け入れるための施設の確保や運用の仕方に工夫が必要なことなどを指摘するなど、一定の成果を得ることができた。しかし、被災地空港を離発着する航空機の流動(OD)や輸送人員・物資の実態については調査が不十分であった。救援活動で大きな貢献があった自衛隊の被災地空港等における活動内容についても未だ詳細には把握しきれない。そのため、近い将来に想定される南海トラフ地震などの広域大地震の被災地における空港での備えの現状と課題なども明らかにする必要がある。さらに広域における複数空港の役割分担とその運用方法について一般化した数理モデルで定義し、最適な空港運用のあり方について分析することも重要である。

2. 研究の目的

本研究は、東日本大震災での被災地における空港運用の実態と課題を客観的分析と現場のインタビュー調査により明らかにし、それを後世に伝えることを第1の目的とする。さらに、それら調査結果を参考に災害時の空港運用における各種供給制約を定義・定量化し、広域被災を想定した複数空港の運用最適化モデルの開発を行う。開発したモデルを今後の広域大災害が想定される地域に対して適用し、複数空港の望ましい運用方策について検討することを第2の目的とする。以上の調査・分析から空港がより効果的な航空機活動を支援するための運用の方法論の提示、および今後必要となる備えや対応すべき課題と改善の方向性について分析・提言することを最終目的とする。

3. 研究の方法

本研究は、東日本大震災での被災地における空港運用の実態と課題および今後の広域災害で被害が想定される地域における空港

での備えについて調査して対応への課題の解明を目的としていた。

そこで、先行研究に引き続き、東日本大震災時の空港離発着データなどを用いた客観的分析と現場のインタビュー調査を行った。近年の大震災時の空港運用についてもレビューし、体系的に整理した。さらに、近い将来に発生するであろう大災害の被災想定地域における空港の備えに対しては、近隣空港間の役割分担と運用の最適化分析手法を開発し、効果的な災害時対応が可能な空港運用のあり方に関する検討と提言をまとめた。

4. 研究成果

(1) 大規模災害時における空港運用の実態と備え

わが国では、阪神・淡路大震災や東日本大震災など数多くの大規模災害を経験している。ここでは、阪神・淡路大震災時においてどのように空港運用されていたのかという実態と、南海トラフ地震への備えをインタビュー結果から述べる。

阪神・淡路大震災時では、主に関西国際空港、伊丹空港、八尾空港の3空港が、被災地への人員や物資輸送の拠点として使用された。被災地内では、西宮運動場、東遊園地などが拠点として使用されたが、ポートアイランドにある神戸ヘリポートは液状化のため使用できず神戸市北区にある防災センターを活用していた。空港運用の工夫では、八尾空港において2本ある滑走路のうち1本を閉鎖し駐機等に活用し、多く飛来するヘリコプターなどに対応した。また八尾空港から被災地までの専用の飛行ルートを確認した。これは、被災地域に報道ヘリが集まり、物資・人員輸送を行う機体が最短で飛べるように配慮した結果である。

南海トラフ地震発生時への備えの状況として、静岡県及び高知県の関係各所へインタビュー調査を行った。紙面の都合上、ここでは高知県について述べる。高知県では、南海トラフ地震対策に積極的であり、地域本部を5箇所設定している。また、ヘリコプター専用の場外離着陸場を90箇所超を用意しており、災害時に避難所になる学校のグラウンドを利用しなくても良いように専用スポットを整備している。また他県からの消防航空隊の応援に備え、空港や総合防災拠点への進入経路の図を渡すなどということも検討されていた。指揮系統に関しては、ヘリ調整所(高知県の呼称)を設置し、指揮支援部隊長は広島市の隊長がなることになっている。これらいずれの対応も、東日本大震災時の課題を踏まえて行われていた。また、広域な応援について対応できるように緊急消防援助隊受援計画の見直しなどを行っているところであった。

(2) 災害時における空港運用方法と容量に関する研究

東日本大震災をはじめとする過去の大規模災害の際には、被災地内外の各空港では滑走路や駐機場といった空港施設を通常とは異なる運用方法で使用する事によって、通常時よりも多くの航空機を処理してきた。今回は新たに平成25年の台風26号による土砂災害を経験した大島空港、阪神淡路大震災を経験した八尾空港(大阪府)、並びに今後南海トラフ地震での被災が想定される高知空港を対象にヒアリング調査を行い、過去の災害時の実際の運用手法、もしくは今後への備えについて明らかにした。

また、災害時における特殊な空港運用手法の効果を定量的に評価する指標として、空港容量の考え方をを用いることとした。しかし地方空港については、もとより空港の処理容量が問題となるほどの航空機発着が想定されおらず、地方空港の限定的な地上施設や管制能力の下での空港容量算出方法は明らかにされていない。さらに災害時には固定翼機だけでなく多くのヘリコプターが空港を発着するが、固定翼機とヘリコプターの混合運用を考慮した空港容量についても考慮されていない。そこで、運航規則に関する文献調査に加え、航空管制官や運航者に対するヒアリング調査を行うことで、「地方空港」と「ヘリコプター」を考慮した空港容量の算定手法を検討した。

空港容量の算定にあたっては、まず各航空機(ヘリコプターおよび固定翼機の離陸・着陸別)の滑走路占有時間(ROT; Runway Occupancy Time)を求めることが必要となる。本研究におけるROTの設定上の特徴としては以下の3点が挙げられる。

1 点目は我が国の地方部に見られる「レディオ空港」と呼ばれる空港を考慮している点である。レディオ空港には航空機に対する指示権限のない「航空管制運航情報官」が配置され、発着する航空機に対する対空支援業務(使用中の滑走路状況等に関する情報提供)を行っている。レディオ空港においては安全上の理由から空港周辺を飛行可能な固定翼機(計器飛行機)が1機に限定されており、災害時に臨時便や物資輸送などで固定翼機が集中すると、処理容量が急激に低下すると考えられている。本研究においては、固定翼機のROTに関して実際の離着陸に即して5分~10分程度のROTを付与することでこれを再現している。

2 点目として、管制官やパイロットのワークロードを考慮した容量設定を可能とした点が挙げられる。災害時のような特殊な状況下では管制官やパイロットに対して常に大きなワークロードが課されており、そのような状況下で航空機を最短間隔で飛行させることは安全上望ましくない。そこで本研究で

は、航空機を最短間隔で飛行させた場合の「最大容量」の他に、間隔にある程度の余裕を持たせた上での容量である「安全容量」も同時に検討することとした。

3 点目として、平行誘導路の特殊な運用手法を考慮していることが挙げられる。一部の地方空港には平行誘導路が無く、離着陸前後に滑走路を占有しながらタキシングする運用が行われている。また、平行誘導路があったとしても災害時には臨時駐機場として使用されていたため、滑走路をタキシングした事例も報告されている。滑走路を使用しているタキシング中は他の航空機は離着陸を行うことができないため、空港容量が減少する。本研究ではそのような特殊な事例についても検討している。

上記の特徴を含め、空港ごとに実際の運用に即したROTを設定した。また、事前に定めた政策変数(離陸:着陸=1:1、固定翼機の割合は0%~100%まで10%ごと)に従って航空機をランダムに離着陸させたと仮定し、1機あたりの平均処理時間を算出し、滑走路容量を求めた。

図1は花巻空港に関する安全容量を実際に算出し、実測値を比較したものである。空港容量は固定翼機割合=0%のとき(全てヘリのとき)に最大値を得ており、その値は16.2機/30分となっている。固定翼割合が大きくなるに連れて処理容量は減少傾向にあり、固定翼機の離着陸が回転翼機や他の固定翼機の離着陸に大きな影響を与えていたと考えられる。また、花巻空港は震災後から平行誘導路の供用を開始している。平行誘導路を使用した場合の滑走路容量の増加分を図2の濃色部分に示す。平行誘導路の供用開始により固定翼機では最大1.4機/30分、回転翼機では最大2.3機/30分の容量増加が見込まれる。災害発生時には平行誘導路が閉鎖され駐機場として運用されることも想定されるが、そのような方策をとる際には図1、図2に示したような容量の減少について考慮すべきであると考えられる。

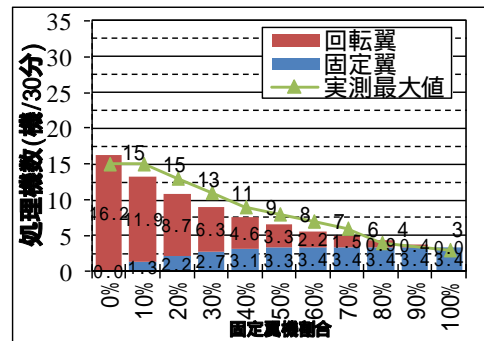


図1 花巻空港の滑走路容量と実測値(安全容量)

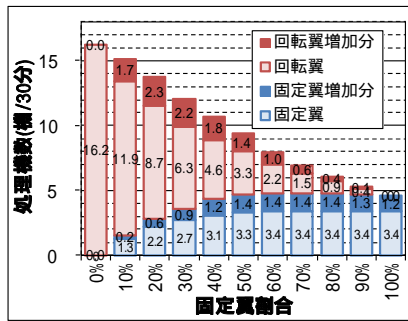


図2 平行誘導路の有無が空港容量に与える影響

(3) 災害時における航空機待ち時間の運用
 災害発生後の初期段階に、航空機は空港を拠点として一斉に集中的に活動する。そのため、駐機スペース不足、燃料補給の混乱、関係機関間の情報共有不足などの問題が発生し、希望時間に離陸できない等の待ち時間が生じることがある。2008年に発生した岩手・宮城内陸地震では、いわて花巻空港において東日本大震災より飛来機数は少なかったものの航空機の集中により駐機場が不足し、燃料給油で混乱が生じた。東日本大震災では、いわて花巻空港や山形空港では過去の教訓に基づき対応が改善されたものの、福島空港では給油の待ち時間が発生している。災害発生後に支援基地となる空港の対応として、航空機の不要な待ち時間が生じないようにするためには、その原因を明確にする必要がある。

そこで本研究では、災害発生後の空港における航空機の待ち時間推計モデルを、開放型待ち行列ネットワークの代表的モデルであるジャクソン (Jackson) ネットワークモデルを用いて構築した。図3のように、災害時の空港で対応を要する各種処置を待ち行列サービス窓口と位置づけ、空港内ネットワークを想定した。このネットワーク上で、先着順、優先順、両者混合順の3つのサービス規律を設定し、待ち時間を推計するものである。航空機の運航主体は、ドクターヘリ、消防・防災、自衛隊、警察・海上保安庁、報道の5つとし、サービス規律別の優先順位をシナリ

オとして設定した。運航主体、対応窓口の各種入力パラメータの設定は、東日本大震災時の花巻空港のデータを参照した。

国土交通省による東日本大震災後の航空機離着陸データを本モデルに適用し、待ち時間を計算したところ、表1の結果を得た。救援活動で大きな待ち時間が発生していることがわかる。先着順の場合はランダムに運航主体が到着するため、各運航主体の待ち時間は同じとなる。優先順にすると、優先順位の低い運航主体の待ち時間が非常に長くなる。今回、報道の優先順位を最も低くしたところ、救援活動の待ち時間は400分以上と推計された。混合順もシナリオに応じて待ち時間が変化している。以上のように、本研究では各運航主体の対応の優先順位を定めることで、待ち時間が具体的に推計可能なことを示した。

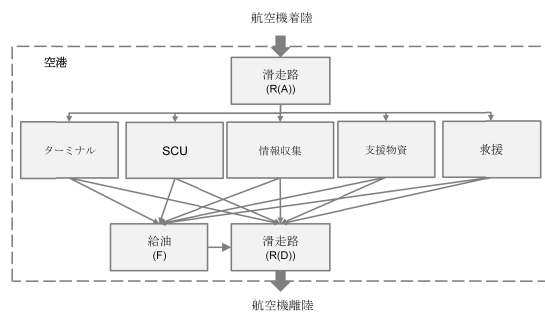


図3 災害時の空港におけるサービス窓口ネットワーク

(4) 航空機運用方法からみた空港の効果的な運用方法の検討

ここでは、南海トラフ地震発生時の高知県を対象として、効果的な航空機の運用方法を検討した。具体的には、救助方法、実働ヘリ数を前提条件として、広域災害時のヘリ活動のシナリオを作成し、マルチエージェントシミュレーションモデルにより、シナリオ別に救助人数を算出し、効果的な運用方法について検討した。

発災直後、ヘリは、空港等ヘリの基地となる場所 (ヘリベース、以下、HB) および防災拠点 (大規模運動公園など) の場外離着陸場

表1 サービス規律別・運航主体別の航空機待ち時間 [単位: 分]

	ドクターヘリ			消防・防災			自衛隊			警察・保安庁			報道		
	先着順	優先順	混合順	先着順	優先順	混合順	先着順	優先順	混合順	先着順	優先順	混合順	先着順	優先順	混合順
滑走路・着陸	7.2	2.8	2.8	7.2	4.1	4.1	7.2	9.3	10.9	7.2	17.9	10.9	7.2	20.8	10.9
ターミナル	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
SCU	2.5	2.2	1.9	2.5	2.8	2.3	2.5	3.1	2.5	2.5	3.2	2.5	2.5	3.2	2.5
情報収集	1.8	1.6	1.5	1.8	1.7	1.6	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.8	1.8	2.0	1.8
支援物資	8.3	5.1	5.1	8.3	6.0	6.0	8.3	8.9	9.7	8.3	12.1	9.7	8.3	13.2	9.7
救援	58.0	8.0	8.0	58.0	12.7	12.7	58.0	60.4	92.7	58.0	266.9	92.7	58.0	409.5	92.7
給油	6.1	3.3	3.3	6.1	4.3	4.3	6.1	7.3	8.1	6.1	10.7	8.1	6.1	12.0	8.1
滑走路・離陸	7.2	2.8	2.8	7.2	4.1	4.1	7.2	9.3	10.9	7.2	17.9	10.9	7.2	20.8	10.9

(フォアードベース, 以下, FB) を拠点として活動する。日の出とともに HB に駐機しているヘリが被災地へ向かい救助活動を行う。日中の活動拠点は, 被災地付近の FB を利用し, FB 等で被災者搬送を受け入れ, 隊員の交代や給油設備が整っている FB では給油を行う。その後, 日没前に HB へ帰還し, 夜間の駐機を行う。また, 途中で必要に応じ HB に帰還し, ヘリの整備等を行う。高知県消防航空隊では HB を高知空港としている。しかし高知空港が被災により使用不可能な場合は代替空港として高松空港と松山空港を使用することが考えられている。

分析の前提条件とシナリオ設定

ヘリによる救助人数を算出するために, Majima et al. (2013) の研究を参考にマルチエージェントモデルを用いたヘリ活動のシミュレーションを作成した。ここではヘリ救助の1ミッションを, 空港・FB を出発したヘリが被災地にて被災者の救助を行い, FB に被災者を降機させることと定義した。各エージェントは, 最適なミッションの選定材料として, 空港・FB ~ 被災地 ~ 空港・FB を1ミッションとして総所要時間を計算し, 最短で救助が完了できる被災地を決定する。しかしこの場合, 最短距離の被災地に活動が集中するため, 県全域に救助が行き渡るような, エリアごとの救助率(救助完了人数/救助要請人数)が均等となるように活動するケースも設定した。表2は, 今回想定したシナリオ設定を示している。ソフト面とは主として運用体制についての条件を示し, ハード面とは, 主として施設・設備の諸条件を示した。

被災状況別のシナリオ分析結果

シナリオの全組み合わせでのシミュレーションの結果を表3に示す。高知県へは, 発災時に最大23機のヘリが飛来予定である。発災直後の混乱期に, これらのヘリを一括で情報を管理し運用することは困難を極める。そこで, 県内をエリア分けし, ヘリに担当エリアを与える運用方法を提案し救助人数による評価を行った。その結果, 担当エリアを詳細に分けることで救助人数は増加する傾向にあった。これは, 担当エリアを分けることで, FB の駐機スペースに入れず, 上空に待機するヘリが少なくなったためである。

高知空港の被災状況別のシナリオ分析では, 高知空港は津波による被災が危惧されているため, 高知空港が HB として使用不可能な場合として, 代替空港利用(高松, 松山空港)を HB とした運用方法の評価を行った。なお, ヒアリング調査より, 冬季は四国山地に発生する雲の影響で, 海岸線沿いへの迂回が必要であるとのことであり, シナリオの1つとして迂回ルートを設定した。図4は高知空港の被災状況による分析結果の一部を示している。救助人数と HB から被災地までの平均移動距離は, 反比例の関係となり, より

被災地に近い HB を選択することで救助人数の増加に繋がると考えられる。また, FB 機能を伴う高知空港が全域使用可能な場合と一部使用可能な場合では, 前者の救助人数が増加した。これは高知空港の駐機スペース増加により, 上空に待機するヘリが一部解消されたためである。以上より, 高知空港を保護することは, HB, FB の両機能面において効果的であり, 救助人数の増加に繋がることが分かった。

表2 シナリオの設定

ソフト面	前提条件	政策面
	救助方法	救助担当エリア分け
ハード面	移動時間最短ヶ所優先	FBごとに8分割
	救助救助率考慮	支部ごとに4分割
		エリア分けなし
	実働ヘリ数	高知空港の被災状況
	一次進出機10機	全域使用可能
	出動待機機を含む23機	全域使用可能一部使用可能
		使用不可能
		使用不可能迂回ルート

表3 救助人数算出結果

ソフト面の条件	担当エリア	ハード面の条件									
		高知空港の状況		全域使用可能		一部使用可能		使用不可能		使用不可能迂回	
		救助方法	ヘリの機数	10機	23機	10機	23機	10機	23機	10機	23機
8分割	移動時間最短地域優先	148	343	145	339	144	338	143	332	143	332
	救助率考慮	139	323	139	319	136	316	134	309	134	309
4分割	移動時間最短地域優先	150	332	149	329	148	320	145	320	145	320
	救助率考慮	135	308	135	303	131	304	130	293	130	293
エリア分け無し	移動時間最短地域優先	150	314	154	325	151	314	144	321	144	321
	救助率考慮	124	303	124	298	118	301	117	292	117	292

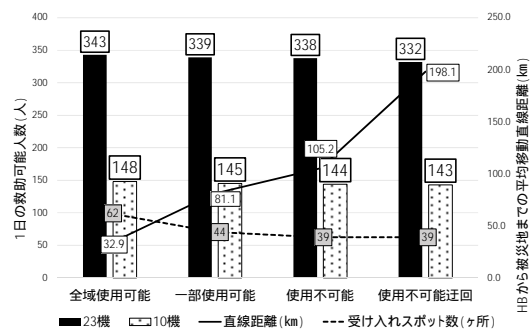


図4 ハード面での救助人数の変動

(5) まとめ

大規模災害時に空港がより効果的に航空機活動を支援するための運用については, 事前の計画と準備が有効である。多くの航空機が被災地域へ飛来することから, 平行誘導路が閉鎖され駐機場として運用されることも想定される。さらに固定翼機と回転翼機が混在して滑走路を利用することが想定され, 滑走路の運用方法を予め検討しておくことが重要であり, その際には空港滑走路の容量の減少について考慮すべきである。

被災地域における空港は, 救助救援活動において重要な拠点であり, 利用可否によってヘリコプターを利用した救助可能人数にも影響を及ぼすことが明らかになった。被災地域における空港が利用できない場合は, 近隣空港を利用することとなるが, 適切な役割分担と運用を行わなければ非効率な運用となることがシミュレーション分析などからも明らかであり, 災害時の空港運用マニュアルの策定が有効である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

荒谷太郎, 平田輝満, 長田哲平, 花岡伸也, 轟朝幸, 引頭雄一: 東日本大震災時の航空機活動と空港運用の実態分析 いわて花巻・山形・福島空港を対象として, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.69, No.5, pp.1_229-1_246, 2013. (査読有)

Shinya Hanaoka, Yuichi Indo, Terumitsu Hirata, Tomoyuki Todoroki, Taro ARATANI, and Teppei Osada: Lesson and Challenges in Airport Operation during a Disaster: Case Studies of Practices at Iwate Hanamaki Airport, Yamagata Airport, and Fukushima Airport during the Great East Japan Earthquake, Journal of JSCE, Vol.1, pp.286-297, 2013. (査読有)

〔学会発表〕(計6件)

Wataru Kodato and Terumitsu HIRATA: Fundamental Analysis of Airport Operation and Capacity in Disaster, 11th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Cebu (Philippines), Sep 12th, 2015.

川崎智也, 荒谷太郎, 轟朝幸, 古川詩乃: 大規模災害時における航空機運用方法の検討 - 南海トラフ地震発生時の高知県を対象として -, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM) Vol.51, 九州大学(福岡県福岡市), 2015年6月7日.

古田土渉, 平田輝満: 大規模災害時の空港運用方法と容量に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM) Vol.51, 九州大学(福岡県福岡市), 2015年6月6日.

Choi, S. and Hanaoka, S.: Space guideline for a humanitarian logistics base in an airport, Proceedings of the 5th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG), Bangkok (Thailand), Jul 28th, 2014.

Choi, S. and Hanaoka, S.: Airport design guideline as a humanitarian logistics base, 土木計画学研究・講演集, No.48, 大阪市立大学(大阪府大阪市), 2013年.11月3日

轟朝幸, 荒谷太郎, 平田輝満, 引頭雄一, 花岡伸也, 長田哲平: 災害時における多様な航空機活動を支える空港運用のあり方に関する研究-東日本大震災の空港利用実態調査を踏まえて-(第45回運輸政策セミナー), 運輸政策研究所(東京

都港区), 2013年10月11日.

〔図書〕(計1件)

花岡伸也: 人道支援ロジスティクスの国際研究動向と東日本大震災における空港運用の実態と課題(4章), 久保幹雄, 松川弘明編著: サプライチェーンリスク管理と人道支援ロジスティクス(分担執筆), pp.167-199, 近代科学社, 2015.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等 特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

轟 朝幸 (TODOROKI, Tomoyuki)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号: 60262036

(2) 研究分担者

引頭 雄一 (INDO, Yuichi)

関西外国語大学・外国語学部・教授

研究者番号: 90636945

花岡 伸也 (HANAOKA, Shinya)

東京工業大学・理工学研究科・准教授

研究者番号: 90467027

平田 輝満 (HIRATA, Terumitsu)

茨城大学・工学部・准教授

研究者番号: 80450766

長田 哲平 (OSADA, Tepei)

宇都宮大学・工学研究科・助教

研究者番号: 50436474

荒谷 太郎 (ARATANI, Taro)

国立研究開発法人海上技術安全研究所・研究員

研究者番号: 60610326

(3) 連携研究者

川崎 智也 (KAWASAKI, Tomoya)

日本大学・理工学部・助教

研究者番号: 30705702