

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：84601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02022

研究課題名(和文) 海外文化財輸送技術との比較による日本の文化財輸送技術の発展に関する研究

研究課題名(英文) Research on the development of Japanese cultural property transportation technology by comparison with overseas cultural property transportation technology

研究代表者

雨森 久晃 (AMENOMORI, HISATERU)

公益財団法人元興寺文化財研究所・研究部・研究員

研究者番号：70250347

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,600,000円

研究成果の概要(和文)：日本の美術品梱包技術や輸送技術は国際的にも優れていると考えている。但し、文化財の材質の違いや移動する文化財の種類など国々によって得意分野も存在する。

本研究では、文化財輸送について海外の事情を調査すると共に日本との比較も行った。その他、国内で安全な輸送を実現するために、エアサスペンションを搭載していない商用バン用の防振パレットの開発を行った。そして、博物館内で使用される手押し台車についても免振キャスターの比較検討を行い、安全に文化財を移動できることを目指し、個々の性能を検証し、報告することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

当該研究は、文化財を対象にしたものである。文化財は、日本の文化を過去から現在、未来へと繋ぎ、国民に自らのアイデンティティの拠り所となるものでもある。現在、各地で行われている展覧会で日本文化についての理解を深められるよう、この替えの利かない文化財を安全に移動させることを目的とし、エアサスペンションを搭載していない商用バンでの輸送時の防振パレットを開発した。それに関連し、博物館相当施設内での移動時に使用される手押し台車の防振に対する検証も行った。

また、日本と海外の美術品輸送についても海外の輸送技術や考え方で優れているところを紹介することによって日本の技術向上も果たせると考える。

研究成果の概要(英文)：We believe that Japan's art packaging technology and transportation technology are internationally superior.

However each country has its own area of expertise, such as differences in the materials used to make cultural properties and the types of cultural properties that are transported. In this study, we investigated the overseas situation regarding the transportation of cultural properties and compared it with Japan. In addition, in order to realize safe transportation in Japan, we developed an anti-vibration pallet for commercial vans without air suspension.

We also conducted a comparative study of anti-seismic casters for the pushcarts used in the museum, and were able to verify and report the performance of each with the aim of safely moving cultural assets.

研究分野：保存科学

キーワード：海外美術品輸送 防振パレット 免振キャスター 手押し台車 クレート

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在の経済状況や省エネ化から美術品専用車を使わない場合や、エアサスペンション非搭載の商用ワンボックス商用車を使う場合が増えてきており、輸送時に資料・遺物の破損を起こすケースも増加していた。これらを解決するため、梱包技術・材料に着目し、人的作業や輸送手段に起因する衝撃・振動を梱包材料・技術等でカバーすることが必要であった。また、博物館・美術館内での移動にも着目し、館内で使用される手押し台車についての振動や衝撃を解明し、どのようなキャスターで資料を移動するかについて検討することも急務であった。

現代は、世界中で多くの展覧会が開催されている中、国内から海外、海外から国内へと文化財はリスクを内在しながら移動を繰り返されている。国内外において梱包の理念、技術、材料には、その国々によって個別のものとなっており国際的に標準化されてはいないのも現実であった。

### 2. 研究の目的

少量の資料の移動には経済的な制約によって、4トントラックを使用できない場合もある。その場合、2トントラックやワンボックス商用車での輸送となるが、それらのサスペンションはリールサスペンション(板バネ式)であるため、資料に負荷が掛かる状態となる。そのためワンボックス商用車で使用できる除振台の開発を本研究の目的の一つとした。

また、博物館等の施設内での移動で使用する手押し台車についても、より防振性が高いキャスターを比較検討することにより、安全に資料の館内移動ができることも研究目的とした。

3つ目の目的は、海外における文化財(美術品)の輸送についての調査である。

海外から日本へ、日本から海外へと数多くの文化財・美術品が日々輸送されている。国々によってその梱包の仕方は統一されていない。日本で行われている梱包技術の優位点、欧州で行われている美術品梱包技術の優位点やそれぞれの相違点を調査することを目的とした。

### 3. 研究の方法

一つ目の目的であるワンボックス商用バン用防振システムの開発では、研究協力者の株式会社守谷商会と株式会社エーエスとの共同開発により試作防振パレットの製作を行った。旧型のキャラバンを用いて振動測定を行った結果を踏まえ、現行の日産自動車キャラバンNV350(所用車)を用いて、試作防振パレットの走行実験を行った。キャラバンのサスペンションは、フロント：ダブルウィッシュボーン式、リア：車軸式半楕円板バネである。走行条件は、市街地道路と高速道路を想定し、公益財団法人元興寺文化財研究所総合文化財センターを発着地とし、奈良公園を通り、通称奈良坂を超え、木津ICより京奈和自動車道に入り精華学研ICで帰路となるコースとした。防振パレットの仕様は、法量800×800mm、上限位置は209mm、下限位置は164mm。最大積載量は、1台につき30kg。ばね固有振動数は、約3.5Hz(30kg積載時)。減衰構造は、粘性ダンパー。ストロークは、±20mm。本体質量は、約50kg。

計測機器は、データロガー(計測ユニット)は、KEYENCE NR-600(NR-ST04、NR-CA04)を用いてサンプリング周波数：200Hzに設定した。センサは、昭和測器株式会社製の圧電型加速度検出器MODEL-2360と株式会社昭和測器社製の3軸加速度変換器SALT-100MSを用いて行った。以上が、ワンボックスタイプ商用バン用防振パレットプロトタイプ開発のための研究方法である。計測結果等については研究成果の項「4-1.ワンボックスタイプ商用バン用防振パレットプロトタイプの開発」に記載した。

当該研究では、目的の一つに博物館等の館内で資料の移動に使用される手押し台車について資料への振動を抑え、安全に移動できる台車はどのようなものであるか、現在日本国内で市販されているキャスターについて手押し台車に装着した状態で走行実験を行い検証した。手押し台

車については、2種類の台車による走行実験を行った。1つ目は耐荷重 300 k g の D A N D Y X シリーズ typeXA UXA-LSC 台車寸法は幅 605 ( mm ) 奥行 935 ( mm ) ( 花岡車両株式会社製 )、2つ目は耐荷重 200 k g。台車寸法は幅 600 ( mm ) 奥行 910 ( mm ) ( 中部産業株式会社製 ) である。通常キャスター ( ハンマーキャスター株式会社製 ) 台車 DANDY X シリーズ 専用設計 グレイサイレントキャスター 最大荷重 75 k g 免振キャスター ( 株式会社松田技術研究所 最大荷重 50 k g ノーパンクタイヤ ( 岐阜産研工業株式会社製 ) 6 1/2 x 2-3HL PU 最大荷重 60 ( daN ) 発泡ウレタン充填 空気入タイヤ ( 岐阜産研工業株式会社製 ) 6 1/2 x 2-3HL 最大荷重 60 ( daN ) 空気圧 2.5kgf/cm<sup>2</sup> の4条件の台車を使用した。走行実験には元興寺文化財研究所総合文化財センターのサマヤ館1階をテストコースとした。走行距離は約 75m で途中 3 か所のドア段差と 4 か所のクランクを設定。荷重量は 0Kg 15Kg 30Kg 45Kg 60Kg の5条件。ウエイトには鉛ゴムシートを用いた。三軸加速度センサは、G-MEN GP20 ( 株式会社スリック製 ) を使用した。計測実験方法は次の通りである。各台車に所定のウエイトを載せ、三軸加速度センサを荷台中央に設置し、テストコースを走行した。加速度センサの位置は台車のほぼ中心とした。

上記の走行実験と共に耐荷重 150 k g の手押し台車 DANDY X シリーズ typeXL UXL-LSC ( 花岡車両株式会社製 ) を使用して行った。台車に既存していたユーエイ社製キャスター ( 通常キャスター・免振機構なし ) とハンマー社免振キャスター一輪当たりの耐荷重 18daN、12daN の2種類、ユーエイ社免振キャスターskyシリーズで一輪当たりの耐荷重が 20daN、10daN の5水準とした。

走行荷重量はハンマー社製 18daN とユーエイ社製 20daN のものは一輪の耐荷重から 0Kg 15Kg 30Kg 45Kg の4条件で設定した。ウエイトは同上とした。三軸加速度センサは、G-MEN GP20 ( 株式会社スリック製 ) を使用した。計測実験方法は、各台車に所定のウエイトを載せ、三軸加速度センサを荷台中央に設置し、テストコースを走行した。その際、スピードやステアリングによる異差を可能な限り少なくするため、コースにテープを貼り、同一人物が手押し走行実験を行った。これらの走行実験結果は、研究成果「4 - 2 . 手押し台車の走行実験」で報告する。

当該研究のもう一つの大きな目的に美術品輸送に関する海外調査がある。

海外調査のターゲットは、欧州のオランダを中心に行うこととした。他にスイスでも調査を行った。オランダの調査期間は令和元年7月2日～10日で、訪問先は、ブロンベーク博物館館長 Verhoeven 氏、ヴァン・ゴッホ美術館作品保存修復管理部責任者 Meiracker 氏、熱帯博物館 Ruijter 氏、NICAS (NETHERLANDS INSTITUTE FOR CONSERVATION+ART+SCIENCE+) Rous 氏、アムステルダム国立美術館 Sauvage 氏、ライデン国立民族学博物館 Zalm 氏、国立遺産研究所 Wei 氏、オランダにおける文化財輸送の現状及び梱包技術 について調査を行った。

スイス調査期間は令和2年2月22日～26日で、チューリッヒリトバーク ( リートベルク ) 美術館の Khanh 氏と面会し、美術館での文化財輸送に関する調査を行った。その後2回目のオランダでの調査を令和5年1月20日から25日で行った。2回目の調査対象は、Sebert Trillingshechnik と HIZKIA である。Sebert Trillingshechnik は、輸送環境の調査会社である。HIZKIA は、美術品輸送会社である。

#### 4 . 研究成果

##### 4 - 1 . ワンボックスタイプ商用バン用防振パレットプロトタイプの開発

研究方法で述べたように現行型日産キャラバン NV350 に実装し、振動計測を行った。走行実験の結果は、概ね減衰傾向にはあるが、防振パレット上で全ての入力荷室床 ( 車の挙動 ) より大きく減衰する結果とはなっていなかった。60 k g 一般道の鉛直方向では荷室床へ 7G の入力の後にパレット上でも 7.1G 上下の加速度が生じ、高速道路では荷室床は 13.8G の入力の後パレット上で 11.9G の入力があり免振効果が低い状態もあることが判明した。

#### 4 - 2 . 手押し台車の走行実験

最大積載荷重 300 及び 200 k g の手押し台車に関する走行実験の結果について以下に述べる。破損事例は上下運動が起因するため Z 方向（鉛直方向）の加速度に着目して考察した。

最大加速度は通常キャストの積載 30 kg の時 MAX5.4G を免振キャストの積載 60 kg で MIN-1.0G の発生を確認した。通常キャストでは積載荷重が軽いと振動が大きく、荷重が増えると小さい。また、ドアの段差で大きな値となった。免振キャストは積載荷重上限で除振効果を発揮するが荷重が少ないと効果が少なかった。ノーパンクタイヤと空気入タイヤは通常キャストに比べて、積載が少ない場合でも除振効果が確認された。但し、空気入タイヤは積載荷重が大きいとタイヤの扁平が大きくなり方向を変えると重く始動時や操作性に難があった。

最大積載荷重 150 k g の手押し台車に関する走行実験の結果について以下に述べる。対象の免振キャストは、2 種類の衝撃吸収機構（バネ機構とバネ及び特殊粘弾性体）を有するキャストでそれぞれ基準荷重の異なる 4 水準のキャストを用意して建物内での走行実験を行った。バネ機構を有するキャストは、ハンマーキャスト社のクッションキャストであり、基準荷重は 18・12daN である。バネ及び特殊粘弾性体機構を有するキャストはユーエイ社の SKY S 型であり、基準荷重は 20・10daN である。

走行実験の結果は、5 水準のキャストの中で最小加速度はクッションキャストの 18daN が積載荷重 15 k g の時で 1.6G であった。これはドア 1 とドア 3 の敷居の段差を通過した時に生じた。最大加速度は購入時に装備されていたユーエイ社のキャスト（通常キャスト）であり、積載荷重 30 k g の時、ドア 2 の敷居を通過したときに生じた 11.4G の衝撃であった。また、ほぼ全てで実験コースの敷居等の段差では振動が確認されている。基準荷重が大きな 20daN・18daN の走行実験を行った時、振動吸収機構を備えたキャストは公称では振動を 5 分の 1 程度に軽減となっているが、今回の走行実験の結果では残念ながらその効果は、確認することができなかった。また、それらの原因を基準荷重の大きさにより振動吸収機構が機能していないことも考慮し、基準荷重の小さい 10daN・12daN でも同様のコースで走行実験を行った。結果は基準荷重が大きなものと同じように振動の軽減が見られず、尚且つ基準荷重の大きなキャストと比較しても小さいキャストの方が、大きな加速度を生じさせることが分かった。

#### 4 - 3 . 海外調査による成果

ブロンベック博物館での調査 オランダでは 1985 年頃アメリカで行われていた研究を取り入れ、梱包材については様々な手段で情報を集めている。プラスチックの強度など衝撃のデータを取りながら検討を進めた。レンブラントなどの価値のあるものだけを一般の業者によって美術梱包を行っていたが、エアキャップのみの梱包で移動するなど今では考えられないことをしていた。梱包を外す時に損傷してしまう事例が発生した等を調査できた。

オランダ熱帯博物館での調査 アムステルダム市立ミュージアム、熱帯博物館・ヴァン・ゴッホミュージアム・クレラー・ミュラー美術館、オランダ文化遺産局（RCE）国立美術館とチームを組んで輸送技術について研究している。クレートについては、強度、安定性、衝撃・振動、温湿度、防水、使い勝手についてのテストである。どういう損害が起こったのかケネディーコンサベーション研究所の指標を用いて行っている。それぞれのクレートに対して加振テストや落下試験を行う。試験の振動周波数は 3 ~ 100 Hz を選択しているが産業用（医療機器などの精密機器用）の指標を使っている等調査できた。

ヴァン・ゴッホ美術館での調査 少ない数のコレクションを多数活用するので現在オランダ王立文化遺産研究所の補助を受け環境や振動を検証するプロジェクトを行った。ASLM という企業（オランダの造船会社）からコレクションに関する照明や振動、変色・褪色の研究支援を受け

ている。国際間の貸し出しは問題が多く、各国の道路事情の違い、運転手の意識も違うため粗末に扱われることがある。その他、例えばオランダ航空での輸送時カーゴ内の温湿度については教えてもらえないなど自分たちの目の届かない点が多々あるのが現状である他多数の事例梱包技術についての調査、意見交換を行った。

NICAS (オランダ芸術科学保存協会)での調査 NICAS は2017年から国立美術館、修復の工房、アムステルダム大学が入る、プラットフォームのような組織である。

パステル画に関する研究を行っている。油彩画に比べてパステル画は顔料の粉状剥落の危険性が高い。どのように輸送するかが課題である。落とした時の衝撃や継続的に生じる振動に分けて研究を進めていた。これらについて意見交換を行った。

スイス チューリッヒ リートベルク美術館での調査 日本美術の研究者と修復担当と懇談を行った。10月にプラハで行われるブダ展に出陳するために用意されていた木製クレートについて意見交換も行った。スイスでは、ベルン大学で文化財輸送に関する研究プロジェクトがあり、研究がされている。メインの研究は、油彩画で震動に関する研究を進めている。木製クレートは台座と本像を分けず、そのまま収納しており、クレート内の振動で台座とお像の接地面が損傷する可能性があるかと伝えた。また、クレート内の固定の仕方についても意見交換を行った。

Sebert Trillingshechnikでの調査 この会社は、上述したようにオランダ海軍のサプライヤーとしての活動もしており、様々な電子機器類やウランの輸送時に掛かる衝撃の試験の等を行ってきた中で美術品輸送の分野でも振動検証実験を行うこととなった。

博物館の衝撃許容加速度は3Gを基本としている。振動実験では、外側木製クレート(木製箱)を作製し、内部にキャンバスを設置した内側木製クレートをワイヤースプリングで上下を支える試験体を作製し実験を行っていた。実験ラボでは一定の周波数で加振できる装置など数種類での実験を行っている。加振装置では0.5Hzごとの条件設定が出来るものを使用している。加振試験を行っているものは「アンネフランクの日記」(複製)を使用しての実験であった。現在、アンネフランクの家に展示されている「アンネフランクの日記」の下に敷かれているクッションはこの会社が振動等の検証を行い使用しているとのことであった。美術品輸送時の条件設定などのシビアになっていて、精密かつ高水準の検証がされていることを調査できた。

#### HIZKIAでの調査

HIZKIA VAN KRALINGENは、アムステルダム市立美術館やヴァン・ゴッホ美術館などが使用するレンタルクレートを所有・貸与し、輸送する会社である。先ず美術品輸送時に使用するトラックについて実見し話を聞いた。美術品輸送に使用されているトラックは、大型のものは積載量8t積のものと日本でよく使用されている4t積み相当の物の2種類を実見した。サスペンションは前後ともエアバックによるエアサスペンションを搭載したものであった。荷室内の空調もコントロール可能である。貸し出し用のクレートは28年前から始まり現在も使用している。クレート自体は繰り返し使用可能で短期間での破損もないため、長期に使用でき環境にやさしい。5~6年前にイエローからグリーンへ変更したが、内部の素材の変更が大きい。素材は航空機やNASAで使用されているものでエアボン社のものである。現在は立体物を輸送できるTURTLE CLIMATE CABINETを開発し運用している。これはワイヤーロープサスペンションの台車と連結しており、振動を吸収する機構である。庫内には、調湿材等は同梱せず、データロガーを用いてアプリで庫内の監視をしている。グリーンタートルの庫内は、様々な大きさに対応出来るようにワイヤーロープサスペンションは移動可能な状態である。また、ワイヤーロープサスペンションは作品の重量によって数段階の太さ(硬さ)の指定があり、それに準じて設置することとなっている等の聞き取り調査を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 雨森久晃・塚本敏夫
2. 発表標題 博物館内で使用する手押し台車の防振・除振に関する研究
3. 学会等名 文化財保存修復学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塚本敏夫・雨森久晃
2. 発表標題 博物館内移動用の除振手押台車の開発研究（1）
3. 学会等名 日本文化財科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 雨森久晃 塚本敏夫 滝沢英明 横尾淳一
2. 発表標題 ワンボックスタイプ商用バン用防振の開発について - エアサスペンション無搭載車での安全な文化財輸送をめざして
3. 学会等名 文化財保存修復学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塚本敏夫 雨森久晃
2. 発表標題 文化財輸送に関する除振技術の研究 - バン用除振パレットの開発 -
3. 学会等名 東アジア文化遺産保存学会（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 雨森久晃・塚本敏夫
2. 発表標題 ワンボックスタイプ美術品専用車の免振装置開発及び梱包技術の調査研究
3. 学会等名 文化財保存修復学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塚本敏夫・雨森久晃
2. 発表標題 Research on seismic isolation technology on cultural property transport - Focusing on development of packaging technology -
3. 学会等名 東アジア文化遺産保存学会（国際学会）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	塚本 敏夫  (TSUKAMOTO TOSHIO)  (30241269)	公益財団法人元興寺文化財研究所・研究部・研究員   (84601)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	滝沢 英明  (TAKIZAWA HIDEAKI)		
研究 協力者	横尾 淳  (YOKOO JYUN)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------