

技術報告~~~~~

未固縛包装物の跳ね上がり試験

射手谷 友博*, 斎藤 勝彦**, 上原 雅史***

Jumping Test of Non-Lashing Package

Tomohiro ITEYA*, Katsuhiko SAITO** and Masashi UEHARA***

走行中のトラックが段差を乗り越える際、荷台上で固縛されていない包装物が跳ね上がり、包装内容物へ大きな衝撃が作用し、それが緩衝包装の設計条件となる場合がある。ここでは跳ね上がり振動試験や台車走行段差乗り越え実験により実輸送に起こりうる跳ね上がり衝撃を調べるとともに、落下試験装置や衝撃試験装置、激動試験装置を用いて跳ね上がり衝撃の再現試験を検討する。いくつかの試験を行った結果、激動試験が実輸送中に発生する包装物の跳ね上がり現象を最も簡単に再現できることが分かった。

When a truck runs over a step, non-lashing package jumps up on cargo space and a high shock is applied to the package contents. The jumping shock is sometime the condition of cushioning package. In this paper, jumping shock that could happen during transportation has been simulated using the shock on random test based on truck running over the bump and the running cart test. And, reproducing test of jumping shock has been proposed using a shock tester, a drop tester and turbulence testers. As a result of some tests, it was found that turbulence testers could reproduce jumping phenomenon of package which happens during transportation easier than any other testers.

キーワード：輸送、包装、未固縛、跳ね上がり、試験

Keywords: Transport, Packaging, Non-lashing, Jumping, Test

1. はじめに

走行中の車両が段差を乗り越える際、荷台上で固縛されていない包装物が跳ね上がるこ

とで、包装内容物へ大きな衝撃が作用し、それが緩衝包装の設計条件となる場合がある¹⁾。
平成25年3月にJIS Z 0200「包装貨物一性能試験方法一般通則」が改正され、輸送時に包装貨物が輸送車両等に固縛されていない可

*神戸大学大学院海事科学研究科博士課程前期課程

**連絡者(Corresponding author), 神戸大学大学院輸送包装研究室(〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1) 5-1-1 Fukaeminami, Higashinada, Kobe 658-0022, Japan, TEL:078-431-6341

Email:ksaito@maritime.kobe-u.ac.jp

***アイデックス㈱技術営業部

能性がある場合に、追加で実施する跳ね上がり振動試験が新たに付け加えられたものの、跳ね上がり振動について十分な研究がされていない²⁾³⁾。ここでは輸送中の未固縛包装物の跳ね上がりを室内試験で再現することを目的とし、振動試験と台車走行段差乗り越え実験及び激動試験による再現試験から、固縛されていない包装物の跳ね上がり衝撃について検討している。

2. ダミー包装物と加速度計測器

ダミー包装物(Fig.1)として、鋼製の箱に装着した輸送環境記録計(DER-1000 神栄テクノロジー㈱、サンプリングレート 1ms)を入れたものを用意した。また、包装物内容物上板中央部に小型 3 軸加速度ロガー(AccStick 神栄テクノロジー㈱、サンプリングレート 0.625ms)を取り付けた。段ボール箱の内寸法は 234×304×234mm(クリアランス各 2mm)で、材質 K170×S120×K170 の A フルート、個装重量は約 5.7kg である。また、コーナパッド緩衝材は発泡倍率 35 倍の EPE(Fig.2)である。

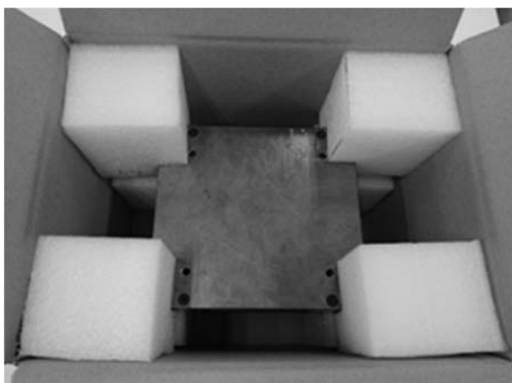


Fig.1 Dummy Package

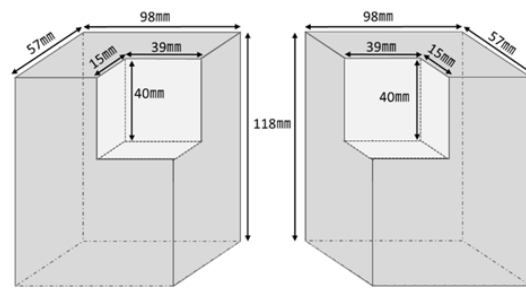


Fig. 2 Corner Pad Cushioning

3. ショック オン ランダム テスト

3.1 減速帯走行試験による加速度時系列データの採取

輸送車両が減速帯を通過する際の荷台振動加速度時系列データを採取するために、4t トラック(エアサスペンション車)で減速帯走行試験(走行速度：20km/h)を行った。



Fig.3 Shock and Vibration Measurement on Cargo Space of Truck



Fig.4 Bump of Truck Running Test

減速帯(Fig.4)を乗り越える時の荷台振動は、トラックに取り付けた輸送環境記録計

DER-1000 (神栄テクノロジー(株))によって計測し、得られた加速度時系列データを **Fig.5** に示す。

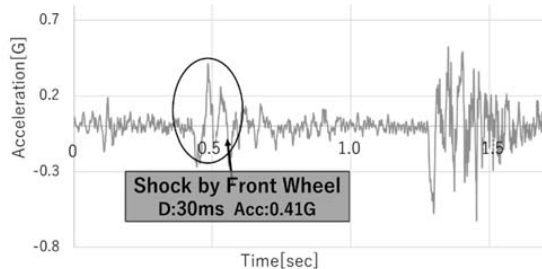


Fig.5 Acceleration Time Series
Measured by Running Truck

なお、実験の制約上、トラック荷台上には未固縛包装物を載せることができなかった。

3.2 振動試験装置による再現

ここでは、実際のトラックが段差乗り越え走行しているとき、荷台上に載せられた未固縛包装内容物の加速度応答は計測できなかったため、前節で計測したトラック荷台加速度時系列データ(上下方向:元データ)をそのまま振動試験装置(IMV i210)(**Fig.6**)により再現させ、それを疑似的なトラック段差乗り越え走行状態としている。その結果、ダミー包装物の応答加速度波形から跳ね上がりしていないことを確認した。そこで、元データの加速度瞬時値を 3~16 倍にした 7 通りの加速度時系列(実輸送中のトラックで十分起こりうるレベル)について、応答加速度時系列より推定跳ね上がり高さを換算するとともに、応答加速度を計測する。



Fig.6 Shock on Random Test

3.3 跳ね上がり高さ推定方法

実験結果解析は走行試験でのトラック前輪通過時とみなされる衝撃波形を対象とした。**Fig.7** に示すように、実験によって得られた応答加速度波形において加速度が約-1.0G となり、次に-0.7G を超えるまでの時間を「推定跳ね上がり時間 t_j 」としこの跳ね上がり時間から「推定跳ね上がり高さ h_j 」を算出した。

$$h_j = \frac{1}{2}g\left(\frac{t_j}{2}\right)^2$$

ただし、**Fig.7** は **Fig.5** に示す加速度瞬時値の 8 倍を入力したときのダミー包装内容物に作用した応答加速度時系列である。

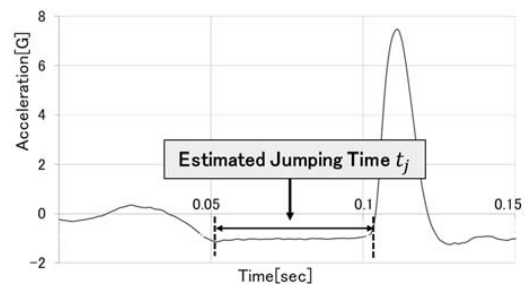


Fig.7 Definition of Estimated Jumping Time

3.4 結果

Table1 は、振動試験装置を用いたショックオンランダムテストにおいて発生させた加速度時系列のピーク値と元データ (**Fig. 5**) の加速度ピーク値の比 N 及びピーク G 値 (G_{pk}) に対して、ダミー包装物の跳ね上がり高さ と内容物に作用した衝撃加速度ピーク値の計測結果である。ここでは、**Table1** に示した値を、トラック段差乗り越え走行時の状態であると解釈して議論を進めていく。なお、トラックが高速道路で走行し減速帯などの段差を乗り越えるとき、荷台衝撃の最大値は $10G$ 以上となる可能性もあり、そのときの荷台上未固縛包装物の跳ね上がり高さは 10 cm 以上となる³⁾ことも想定しておく必要がある。ここでは、振動試験装置の制約から、未固縛包装物を 10 cm も跳ね上げるショックオンランダムテストはできなかったが、振動試験装置を用いたショックテストは可能である⁴⁾。

Table1 Summary of Acceleration and Jumping Height by Shock on Random Test

N(G_{pk})	Jumping Height[mm]	Peak Acc[G]
3(1.2)	N.D.	1.4
5(2.1)	1.1	4.0
8(3.3)	2.9	7.5
10(4.1)	3.5	6.3
12(4.9)	2.9	5.8
15(6.2)	6.2	7.9
16(6.6)	5.8	8.3

4. 台車段差乗り越え実験

実輸送で起こり得る跳ね上がり衝撃として、手押し台車による段差乗り越え時と考えられる。ここでは、固縛していない包装物を載せ

た手押し台車が段差を通過するときにかかる跳ね上がり現象を観察し、台車の加速度と包装内容物への応答加速度を計測する。

ここでは台車による実輸送を想定して、形状や高さの異なる 3 種類の段差を用意した (**Fig.8**)。

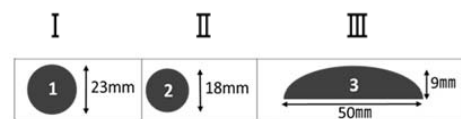


Fig.8 Bumps of the Cart Test

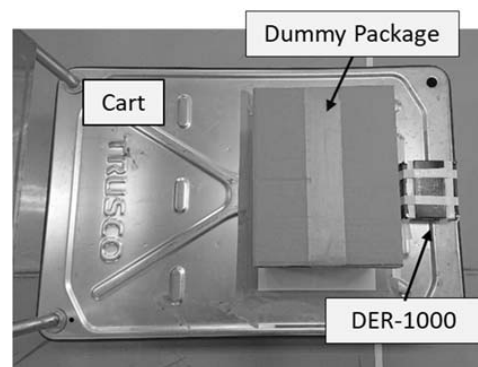


Fig.9 Install of Instruments and Dummy Package on Cart



Fig.10 Running Cart Test

台車の振動は荷台上に固定した輸送環境記録計 DER-1000(神栄テクノロジー(株))により計測し、ダミー包装物は輸送環境記録計の後部に未固縛の状態で置いた(Fig.9)。

Fig.10 のようにダミー包装物と輸送環境記録計を取り付けた台車を通常の歩行速度(時速約 4 km)で押して進み、段差を乗り越え通過する。ここでは Fig.8 に示す 3 種類の段差についてそれぞれ 2 回ずつ試験を行った。Fig.11 は台車上(a)及びダミー包装内容物(b)で計測した加速度時系列の一例である。

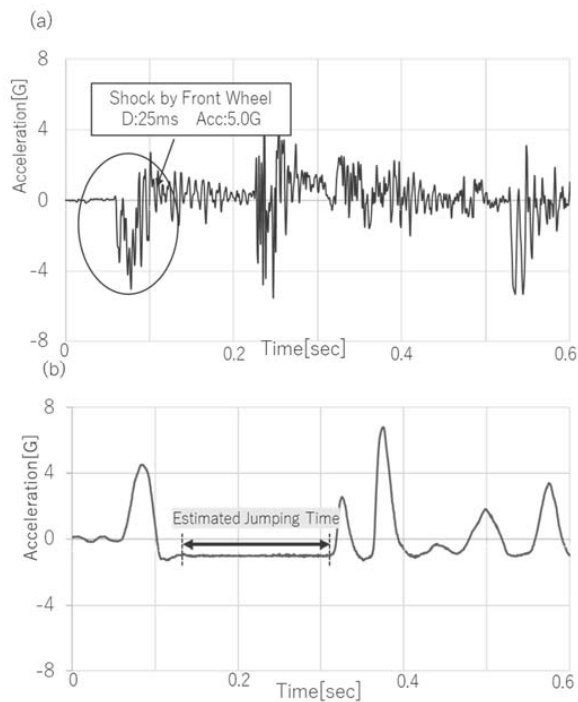


Fig.11 Example of Acceleration Time Series by Running Cart Test (Bump Type : I) (a) Input (b) Output

台車が段差を乗り越えるとき車輪が前後それぞれ持ち上げられるために、ダミー包装物は稜落下していることが観察された。従って、ダミー包装物の跳ね上がり方は大きくても、ダミー包装物に作用する衝撃は Table1

に示されるショックオンランダムテストでの値と同程度であった (Table2)。

Table2 Summary of Running Cart Test

Bump Type	Gpk(In)	D[ms]	Jumping Height[mm]	Gpk(Out)
I	5.0	25	42.5	8.5
II	2.8	30	25.8	3.3
II	2.9	32	16.9	2.7
III	3.9	28	27.6	5.4
III	3	30	15.2	3.1

5. 再現試験

5.1 低い落下高さからの自由落下試験

ダミー包装物に輸送中の未固縛包装物の跳ね上がり現象のような小さな衝撃を与えるために、落下試験装置(DT-100B 神栄テクノロジー(株))を用いて、低い落下高さからの自由落下試験を行った。使用する落下試験装置で設定できる最も低い落下高さは 300[mm]なのでダミー包装物を落下試験装置のトレイからひもで水平に吊るし、試験を行った。ここでの落下高さは 10~40[mm]の 4 通りであり、それぞれ 5 回ずつ試験を行った (Fig.12)。

Fig.13 は設定落下高さ 40 mmでの包装内容物で計測された応答加速度時系列の例であり、3.3 の方法で換算した落下高さは 38.1 mmである。



Fig.12 Free Fall Test

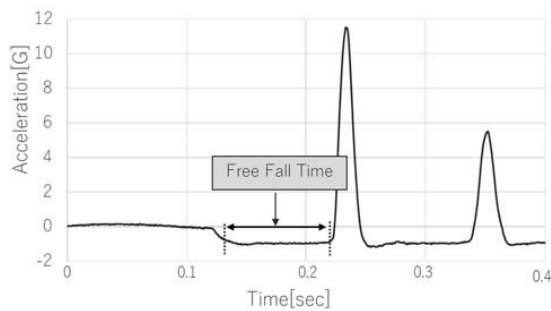


Fig.13 Example of Acceleration Time Series by Free Fall Test

5.2 衝撃試験と激動試験

衝撃試験装置 (ASQ-700 神栄テクノロジー 株 : Fig.14)、激動試験装置 SST (BF-50SST アイデックス 株 : Fig.15 左) および激動試験装置 BT (BF-50BT アイデックス 株 : Fig.15 右) の 3 種類の試験機を用いて未固縛包装物の跳ね上がり試験を行った。衝撃試験装置では衝撃入力波形を緩衝体有効範囲最小の作用時間 30[ms]、衝撃加速度 10[G]に設定し試験を実施した。なお、この衝撃入力加速度ピーク値 (Fig.16(a)) は 3.1 の減速帯走行試験で得られた加速度ピーク値の約 24 倍に相当する。Fig.16(b)はダミー包装内容物に作用した加速度時系列である。これより、まずテーブル衝撃から正弦半波の大きな衝撃 (16G) を受けることでダミー包装物が跳ね上がりテーブルに着地することで衝撃を受けていることが分かる。また、この実験ではダミー包装物が稜落下していることが観察された。

また激動試験では振動は加えず鉛直方向の衝撃のみで試験を行い、テーブル落下高さを 20~50[mm] の 4 通りに調節して実施した。Fig.17 は 2 種類の激動試験における入力及び

包装物応答加速度時系列を示す。2 つの激動試験装置はいずれもテーブル下部がコイルバネで支えられているため、Fig.17(a)(c)のようにテーブル落下による衝撃が発生した後、数秒間は自由振動が起こる。



Fig.14 Shock Tester (ASQ-700)



Fig.15 Turbulence Testers

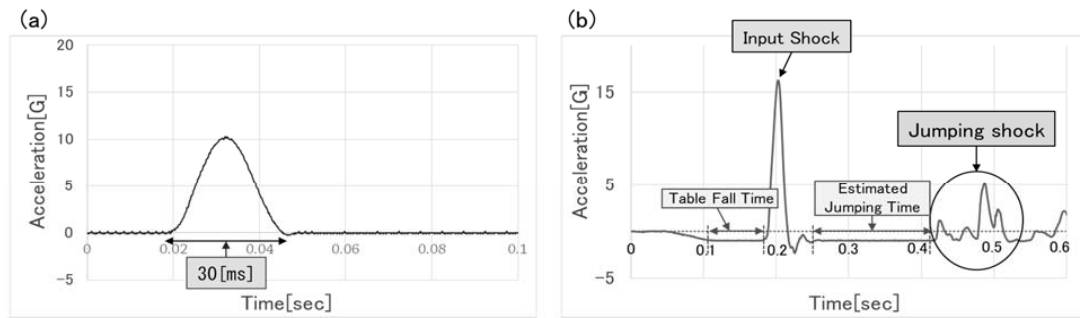


Fig.16 Time Series of Acceleration for (a) Input and (b) Response (Shock Tester)

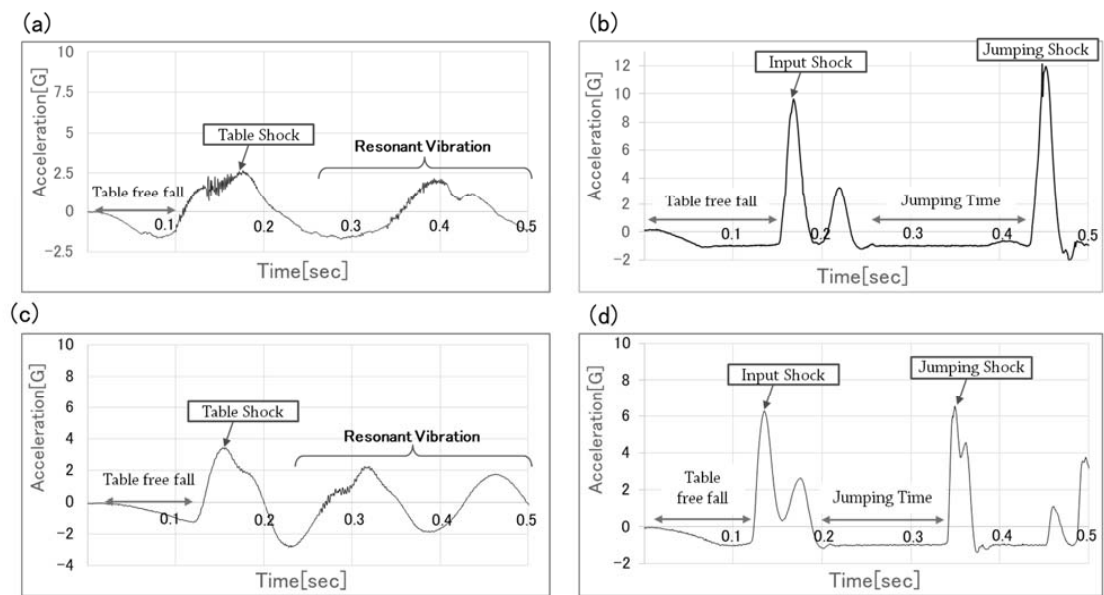


Fig.17 Time Series of Acceleration for (a) Input ("SST"), (b) Response("SST"), (c) Input ("BT") and (d) Response ("BT")
[Table Height : 40(mm)]

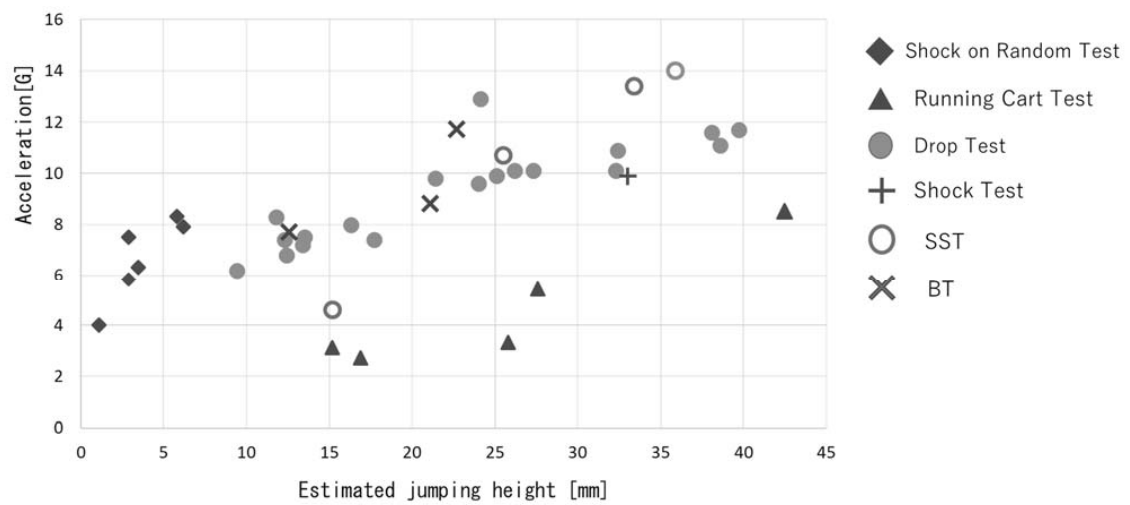


Fig.18 Relationship Between Estimated Jumping Height and Acceleration Peak Measured by Each Tests

6. 跳ね上がり現象の再現性

6.1 各試験の結果

各試験の推定跳ね上がり高さと衝撃加速度ピーク値の関係は **Fig.18** のようになる。ただし、ここでの各試験の加速度ピーク値は 3 軸合成加速度である。また、各試験で跳ね上がり時間が判別できず、跳ね上がり高さを算出できなかったものは除いている。これよりダミー包装物が稜落下する台車段差乗り越え実験を除けば、包装物の跳ね上がり高さと包装内容物に作用する衝撃値の間に相関がみられた。

6.2 再現試験の考察

6.2.1 衝撃試験装置

トラック（ここではショックオンランダムテストによる疑似的な状態）や手押し台車が段差を乗り越えるときなど未固縛包装物が跳ね上がる時の入力衝撃加速度は作用時間 25～30ms、ピーク G 値 3～5G 以上であるが、衝撃試験装置では作用時間 30ms 程度での加速度ピーク値は最小でも 10G 程度 (**Fig.16(a)**) であり、現場再現としては十分ではない。

6.2.2 自由落下試験

落下試による低い落下高さからの自由落下試験では走行中のトラックの跳ね上がり現象（ここではショックオンランダムテストによる疑似的な状態）に近い衝撃を与えることができる。しかし落下角度の調整には手間がかかるため、現状の試験装置を用いる場合、多数回の跳ね上がりを再現するのには適さない。

6.2.3 激動試験

2 種類の激動試験機はどちらも衝撃試験装置やショック波を発生させることができる振動試験装置よりも安価であり、テーブルの落下高さやテーブル下部のコイルバネの調節により走行中のトラック（ここではショックオンランダムテストによる疑似的な状態）や手押し台車が段差を乗り越えるときのような未固縛包装物の跳ね上がり現象に近い衝撃を与えることができる。

7. おわりに

未固縛包装物を跳ね上げることができるいくつかの試験を実施した結果、激動試験が実輸送中に発生する包装物の跳ね上がり現象を最も簡便に再現できることが分かった。

なお、振動試験装置ではショック波を発生させることが可能であり、飯田⁴⁾によれば未固縛包装物を任意の高さに跳ね上げる試験が可能であることが報告されている。

本研究は、日本学術振興会(JSPS)令和元年度科学研究費助成事業(課題番号 18K04608)によるプロジェクトの一環として実施しており、トラック走行試験では(株)日立物流の多大なるご協力をいただいている。

<引用文献>

- 1) 射手谷友博、斎藤勝彦、上原雅史、固縛されていない包装物の振動跳ね上がり特性、第 28 回日本包装学会年次大会予稿集、pp30-31、2019
- 2) 細山亮、斎藤勝彦、中嶋隆勝、非ガウス型ランダム振動が包装内容品の応答に与える影響—実験による検討—、日本包装学会誌、

一般論文、vol.22、No.4、pp296-278、
2013

- 3) 飯田恭平、段差通過時に包装貨物に加わる
衝撃の調査、日本包装学会、ノート、
vol.29、No.2、pp145-154、2020
- 4) 飯田恭平、跳ね上げ試験に関する研究、日
本包装学会誌、解説、Vol.27、No.5、
pp307-311、2018

(原稿受付：2020年5月26日)

(.審査受理：2020年7月7日)