

Title	アート作品梱包における新たな提案： 柔軟性と持続可能性を追求したモジュール式梱包箱のデザイン
Sub Title	Redefining art packaging : a modular design pursuing flexibility and sustainability
Author	峯田, 凜々 (Mineta, Lili) Waldman, Matthew
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2024
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2024年度メディアデザイン学 第1124号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002024-1124

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2024 年度

アート作品梱包における新たな提案：
柔軟性と持続可能性を追求したモジュール式
梱包箱のデザイン



慶應義塾大学
大学院メディアデザイン研究科

峯田 凜々

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士(メディアデザイン学)授与の要件として提出した修士論文である。

峯田 凜々

研究指導コミッティ：

Matthew Waldman 教授 (主指導教員)

稲蔭 正彦 教授 (副指導教員)

論文審査委員会：

Matthew Waldman 教授 (主査)

稲蔭 正彦 教授 (副査)

大川 恵子 教授 (副査)

修士論文 2024 年度

アート作品梱包における新たな提案： 柔軟性と持続可能性を追求したモジュール式梱包箱のデ ザイン

カテゴリ：デザイン

論文要旨

本研究は、「モジュラーデザインの採用によって、アート作品の梱包箱における柔軟性の向上、実用性の確保、環境負担の軽減を達成できるかどうか明らかにすること」を目的として、モジュール式梱包箱のデザインとその評価を行った。

柔軟性の評価では、多様な形状およびサイズのアート作品への汎用性、再利用性、省スペース性を評価した。最終デザインを用いた組み立て・分解テストおよびインタビューを実施した結果、組み立てや分解の容易さに関しては高い柔軟性を有していることが確認された。一方で、分解作業中の破損リスクや収納・整理の利便性には課題が残ることが明らかとなった。

実用性の評価として、落下テストおよび輸送テストを実施した。最終デザインの梱包箱は一定の保護性能を有していたが、高所からの落下時には衝撃吸収性が不十分であることが判明した。特に、曲面部分を下にした場合、衝撃が局所的に集中し、内容物の破損リスクが高まる可能性が示唆された。一方、エアークッションやストレッチラップを併用することで、安定した保護性能を発揮することが確認された。また、輸送テストでは、梱包箱および内容物に破損が生じることなく目的地に到達し、輸送中の保護性能を備えていることが実証された。

持続可能性の評価にはライフサイクルアセスメント（以下、LCA）を用い、既存の梱包箱との比較を行った。その結果、モジュール式デザインの梱包箱は、約92%の環境負荷低減を達成し、持続可能性の観点から大幅な改善が示された。

以上の結果から、モジュール式梱包箱は一定の柔軟性と保護性能を有し、環境負荷の低減にも寄与することが確認された。一方で、ユニットの耐久性や収納性の向上、高所からの落下時における衝撃吸収性の改善といった課題は今後の検討事項として残るものの、本研究は、アート作品の梱包における持続可能な新たな選択肢として、モジュラーデザインの可能性を提示するものである。

キーワード：

アート作品梱包、モジュラーデザイン、サステナブルデザイン、持続可能性

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

峯田 凜々

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2024

Redefining Art Packaging: A Modular Design Pursuing Flexibility and Sustainability

Category: Design

Summary

This study aimed to determine whether adopting a modular design could enhance the flexibility, ensure practicality, and reduce environmental impact in the packaging of artworks. To achieve this, a modular packaging box was designed and evaluated.

For the evaluation of flexibility, factors such as versatility for various shapes and sizes of artworks, reusability, and space efficiency were assessed. Assembly and disassembly tests were conducted using the final design, along with interviews. The results confirmed that the design demonstrated high flexibility in terms of ease of assembly and disassembly. However, challenges remained regarding the risk of damage during disassembly and the convenience of storage and organization.

To evaluate practicality, drop tests and transport tests were conducted. The final packaging design exhibited a certain level of protective performance; however, its shock absorption capacity was found to be insufficient when dropped from a height. In particular, when the curved section was placed downward, the impact was concentrated locally, increasing the risk of damage to the contents. On the other hand, it was confirmed that the combination of air cushions and stretch wrap could provide stable protective performance. Additionally, in the transport test, the packaging box and its contents arrived at their destination without damage, demonstrating sufficient protective capability during transportation.

For the evaluation of sustainability, a Life Cycle Assessment (LCA) was conducted to compare the modular packaging box with conventional packaging solutions. The results showed that the modular design achieved approximately a 92% reduction in environmental impact, indicating significant improvements in sustainability.

Based on these findings, the modular packaging box was confirmed to possess a certain degree of flexibility and protective performance while contributing to the reduction of environmental impact. Although challenges remain, such as improving the durability of the units, enhancing storage efficiency, and increasing shock absorption during high-impact drops, this study presents modular design as a viable and sustainable new option for artwork packaging.

Keywords:

art packaging, modular design, sustainable design, sustainability

Keio University Graduate School of Media Design

Lili Mineta

目 次

第 1 章 序論	1
1.1. 研究背景	1
1.2. 問題提起	2
1.3. 研究の目的	2
1.3.1 リサーチクエスション	3
1.3.2 仮説	3
1.4. 研究の意義と独自性	4
1.5. 本論文の構成	4
第 2 章 関連研究	6
2.1. 本章の概要	6
2.2. アート作品の梱包に関する事例	6
2.2.1 絵画専用郵送箱	6
2.2.2 再利用可能な梱包箱	11
2.3. サステナブルデザインに関する事例・研究	13
2.3.1 リユース	13
2.3.2 リデュース	14
2.3.3 リサイクル	17
2.4. モジュラーデザインに関する事例	18
2.4.1 モジュラーデザインの概要	18
2.4.2 モジュラーファッショ	18
2.4.3 モジュール式梱包材	20
2.4.4 モジュール式マルチカバー	22

2.5. 本研究の新規性	23
第3章 デザインプロセス	25
3.1. 概要	25
3.2. デザインコンセプト	26
3.2.1 既存梱包の課題分析	26
3.2.2 インタビューを通じて浮き彫りとなった課題	31
3.2.3 デザインの要件とアプローチの決定	32
3.3. プレプロトタイプ：ベーシックスロットモジュール	33
3.3.1 目的	33
3.3.2 設計内容	35
3.3.3 評価と課題	35
3.3.4 次回プロトタイプに向けた改善点	35
3.4. プロトタイプ1：ロックパズルモジュール	35
3.4.1 目的	35
3.4.2 設計内容	37
3.4.3 評価と課題	37
3.4.4 次回プロトタイプに向けた改善点	38
3.5. プロトタイプ2：タブスロットモジュール	39
3.5.1 目的	39
3.5.2 設計内容	40
3.5.3 評価と課題	41
3.5.4 テストの実施	42
3.5.5 次回プロトタイプに向けた改善点	47
3.6. 最終デザイン：スリットシリンダーモジュール	49
3.6.1 設計内容	49
3.6.2 評価の指針	50
第4章 評価	53
4.1. 基本方針	53

4.2. 柔軟性の評価	53
4.2.1 はじめに	53
4.2.2 評価方法	54
4.2.3 結果と考察	57
4.2.4 結論	63
4.3. 実用性の評価	64
4.3.1 はじめに	64
4.3.2 評価方法	64
4.3.3 落下テストの結果と考察	71
4.3.4 輸送テストの結果と考察	75
4.3.5 結論	78
4.4. 持続可能性の評価	79
4.4.1 はじめに	79
4.4.2 評価方法	79
4.4.3 結果と考察	80
4.4.4 結論	81
第5章 結論	84
5.1. 本研究の総括	84
5.1.1 リサーチクエスション	84
5.1.2 仮説	84
5.1.3 柔軟性の検証	85
5.1.4 実用性の検証	87
5.1.5 持続可能性の検証	89
5.2. 今後の展望	91
謝辞	94
参考文献	95

付録	99
A. アート業界における梱包および関連課題に関する聞き取り調査 . . .	99
A.1 箱製作の専門家	99
A.2 ギャラリー訪問記録	100
B. モジュール式梱包箱の組み立て・使用感に関するアンケート . . .	101
B.1 アンケートの目的	101
B.2 対象者	102
B.3 アンケート実施方法	102
B.4 アンケート結果	102

目 次

2.1	アートボックス	8
2.2	アートボックスの価格表	9
2.3	プレミアム梱包キット	10
2.4	プレミアム梱包キットのサイズ・価格表	10
2.5	リユーザブルクレート	11
2.6	再利用できる梱包資材	13
2.7	パターン配置ソフトによる生地使用率の視覚化	14
2.8	DPDC プロセスを用いた衣服デザインの例	15
2.9	ゼロウェイストパターン（左）と完成した衣服のプロトタイプ（右）	16
2.10	Parley for the Oceans	17
2.11	Nelissa Hilman プロジェクト	19
2.12	モジュール式バッグ	20
2.13	モジュール式梱包材 CY-BO	21
2.14	フェルトユニット／CUMA	22
3.1	従来の梱包方法（立体作品）	27
3.2	従来の梱包方法（平面作品）	28
3.3	緩衝材として使用されるエコクッション	29
3.4	コンセプチュアル梱包箱	30
3.5	プレプロトタイプ	33
3.6	プレプロトタイプ - 組み立て後	34
3.7	プロトタイプ1 - 図面	36
3.8	プロトタイプ1	37

3.9	プロトタイプ1 - 蓋付	38
3.10	プロトタイプ2 - 図面1	39
3.11	プロトタイプ2 - 図面2	39
3.12	プロトタイプ2 - バリエーション1	40
3.13	プロトタイプ2 - バリエーション2	41
3.14	プロトタイプ2 - 梱包の様子	42
3.15	「組み立て作業の直感性」についての回答分布	43
3.16	「分解作業の容易さ」についての回答分布	44
3.17	「アート作品の一時保管場所としての適切性」についての回答分布	45
3.18	「梱包箱の強度」についての回答分布	46
3.19	ダンボール板のユニットの仕組み	48
3.20	円筒のユニットの仕組み	48
3.21	梱包箱の蓋を開けた状態	49
3.22	梱包箱を閉じた状態	50
3.23	最小単位 of ユニット	51
3.24	基本単位 of ユニット	52
4.1	組み立てテストの様子	56
4.2	「多様なサイズ・形状への汎用性」についての回答分布	57
4.3	「工具なしでの組み立ての実現性」についての回答分布	58
4.4	「分解作業の容易さ」についての回答分布	58
4.5	「分解作業中の破損リスク」についての回答分布	59
4.6	「分解作業中の破損リスク（厚い芯材を使用した場合）」について の回答分布	59
4.7	「分解後の収納・整理の利便性」についての回答分布	60
4.8	パターン1（エアークッションのみ）	65
4.9	パターン2（エアークッション+ストレッチラップ+最終デザイン）	65
4.10	パターン3（最終デザインのみ）	66
4.11	落下テスト（パターン2/2m） - 落下前	67
4.12	落下テスト（パターン2/2m） - 落下直後	68

4.13	落下テスト（パターン 3/50cm） - 断面から落下した瞬間	69
4.14	落下テスト（パターン 3/50cm） - 曲面から落下した瞬間	69
4.15	輸送テストのための梱包（エアークッション+ストレッチラップ+ 最終デザイン）	70
4.16	輸送テスト - 郵便局にて	71
4.17	パターン 1 - 落下後の中身の様子	72
4.18	パターン 2 - 落下後の中身の様子	73
4.19	パターン 3（断面から落下） - 落下後の梱包箱の様子	74
4.20	パターン 3（曲面から落下） - 落下後の中身の様子	75
4.21	輸送テスト - 到着後の梱包開封の様子	76
4.22	輸送テスト - 到着後の梱包箱の様子	77
4.23	輸送テスト - 到着後の中身の様子	77
4.24	既存の梱包箱とモジュール式デザイン梱包箱のスコアカード比較	82
4.25	環境負荷カテゴリー別の影響比較	83

表 目 次

4.1	柔軟性に関する評価結果	60
4.2	落下テストの結果 - パターン 1	71
4.3	落下テストの結果 - パターン 2	72
4.4	落下テストの結果 - パターン 3	74

第 1 章 序

論

1.1. 研究背景

アート作品の梱包は、一般的な梱包とは異なり、多様なサイズや形状の作品に対応するため、個別に設計された梱包が必要となる。しかし、日本では現在、額装業者などに特注の梱包箱を注文する方法、あるいは一から梱包箱を製作する方法が取られている。そのため、労力・時間・経費の負担が大きくなるという課題に加え、一度使用した梱包箱が蓄積し、保管スペースが不足するという問題も生じている。

また、近年の環境問題への関心の高まり [1] を受け、アート作品の梱包においても、環境負荷の軽減を考慮することが求められるようになってきた。しかし、アート作品には繊細で高価なものも多く、過剰包装になりやすいのが現状である。さらに、梱包箱の一部にでも汚れや破損が生じると、他のアート作品の梱包に再利用することが難しくなり、廃棄せざるを得ないケースが多い。こうした背景を踏まえ、本研究では、サステナブルデザインの観点が十分に取り入れられてこなかったアート作品の梱包分野において、モジュラーデザインを採用し、梱包の持続可能性に取り組むことを目指す。

本研究におけるデザインに採用するモジュラーデザインは、建築などの他分野で成功を収めており [2]、アート作品の梱包箱においても応用する価値があると考えられる。モジュラーデザインは、柔軟性や汎用性に優れている [3] だけでなく、その製品の再利用可能性を高めることができる [4]。このように、モジュラーデザインの特性を活かした新しい梱包箱の提案は、アート作品梱包における課題を解決するための手段となることが期待される。

1.2. 問題提起

現在、美術館やギャラリーで使用されている梱包箱にはいくつかの課題が存在する。まず、多くの梱包箱は特注品であるため、他の作品の梱包には再利用できず、一度使用すると廃棄されることもある。また、過剰包装が行われることも多く、資源の無駄遣いが指摘されている。

アート業界関係者へのインタビューからも、こうした課題が明らかになった。ギャラリー関係者やアーティストからは、「輸送中に作品が破損するリスクを最小限に抑えるため、過剰包装にならざるを得ない」という声や、「リサイクルしようとしても、使用後の梱包箱の分別や処理が煩わしい」という意見が寄せられた。さらに、「作品ごとに梱包箱を特注するため、費用の面で負担が大きい」という課題が挙げられた。

また、市販の梱包箱では、アート作品の多様なサイズや形状に適応しきれない場合がある。そのため、特注の梱包箱を調達する必要があるが、これには時間と費用がかかるだけでなく、効率的な梱包や保管の妨げとなる。さらに、一度使用した梱包箱は解体して再利用することが困難であり、保管時に大きなスペースを要するケースも少なくない。このような非効率的な梱包方法は、倉庫スペースの有効活用を阻害する要因の一つとなっている。

以上のような現状を踏まえ、環境負荷を軽減しつつ、柔軟性と実用性を兼ね備えた梱包箱の必要性が、アート業界においてますます重要視されていることが浮き彫りとなった。

1.3. 研究の目的

本研究は、現行のアート作品梱包が抱える課題に対して有効な解決策を提示するため、柔軟性が高く、環境負荷の少ない梱包箱のデザインを目指す。この目標に基づき、本研究では以下のリサーチクエスションと仮説を設定する。

1.3.1 リサーチクエスチョン

1. モジュール式梱包箱は、アート作品の多様なサイズや形状に対応し、組み立てや分解が容易で、再利用可能な柔軟性の高い梱包箱であるか？
2. モジュール式梱包箱は、従来の梱包箱と比較して、端材や廃棄物の発生を削減し、ライフサイクル全体における環境負荷（二酸化炭素排出量、エネルギー消費量、水消費量など）を低減できるか？

1.3.2 仮説

リサーチクエスチョン 1 に関する仮説：

- 1 モジュール式梱包箱は、アート作品のサイズや形状の違いに柔軟に対応できる。
- 2 モジュール式梱包箱は、従来の特注梱包箱と比較して、工具なしでの組み立てや分解が容易である。
- 3 モジュール式梱包箱は、従来の梱包方法と比較して再利用が容易であり、より長期的に使用可能である。

リサーチクエスチョン 2 に関する仮説：

- 1 モジュール式梱包箱の製造過程で発生する端材の量は、従来の梱包箱よりも少ない。
- 2 モジュール式梱包箱の使用後に廃棄される材料の量は、従来の梱包箱よりも少ない。
- 3 モジュール式梱包箱のライフサイクル全体における二酸化炭素排出量は、従来の梱包箱よりも少ない。
- 4 モジュール式梱包箱の再利用率が向上することで、新規製造に伴うエネルギー消費量が低減する。

本研究の目的は、以上に述べたリサーチクエスチョンへの答えを明らかにし、仮説の妥当性を検証することである。

1.4. 研究の意義と独自性

本研究の意義は、アート作品の梱包において実用性を確保しつつ、柔軟性と持続可能性を両立させる点にある。現在、アート作品の梱包は特注品が主流であり、費用負担の増大や保管スペースの制約、廃棄物の発生増加といった課題が指摘されている。本研究では、モジュラーデザインを採用することで、従来の梱包方法では対応が難しかったサイズや形状の多様性に適応し、組み立てや分解を容易にする。さらに、廃材の発生を最小限に抑えるとともに、再利用可能な構造を実現することで廃棄物の削減を図る。これにより、本研究はアート作品のための保護機能を損なうことなく、持続可能な梱包箱を設計し、環境負荷の低減に寄与することを目指す。

さらに、持続可能性を重視したアート作品の梱包箱の実現は、アート業界におけるエシカルな価値観の推進にも寄与する可能性を有している。本研究の成果は、環境配慮型の梱包箱の導入を通じて、ギャラリーや美術館をはじめとするアート業界内における環境意識の向上を促進する基盤となり得る。

また、本研究の独自性は、モジュール式梱包というアプローチをアート作品の輸送・保管という特定の用途に適用し、その実用性を検証する点にある。これまで、モジュール式梱包は主に建築分野などで研究されてきた [2] が、アート業界への適用はされていなかった。本研究では、アート作品特有の保護要件を考慮した設計を行い、梱包の省スペース化や廃材・端材の削減、環境負荷の低減といった効果を検証することで、アート業界における新たな梱包方法の可能性を示す。

1.5. 本論文の構成

本論文では、まず第1章で研究背景と問題提起について述べる。次に、第2章では、関連研究としてアート作品の梱包の事例、他分野でのモジュラーデザイン

の成功例、およびサステナブルデザインの事例を紹介し、アート作品の梱包箱設計への応用可能性を探るとともに、本研究が貢献できる新規性を明確にする。第3章では、具体的なデザインプロセスを説明し、プロトタイプ的设计と改良を経て、最終デザインに至った軌跡について詳述する。第4章では、柔軟性、実用性、持続可能性の観点から、最終デザインの有効性を検証する。柔軟性の評価では、さまざまなサイズや形状のアート作品への対応力、工具を使わずに組み立て・分解できる作業の容易さなどを確認する。また、持続可能性の評価では、最終デザインと現行の梱包箱を対象に、LCAに基づいて環境負荷の比較・評価を行う。最後に、第5章では研究全体を総括し、得られた知見や今後の展望について述べる。

第 2 章

関 連 研 究

2.1. 本章の概要

本章では、アート作品の梱包における既存の事例に加え、本研究の要であるモジュラーデザインに関する事例や持続可能性の追求を目的とした関連研究を挙げながら、本研究のデザインに反映可能なアイデアを得る。また、これらの研究や事例を通じて、本研究が従来のアプローチに対してどのような新規性を提供し得るかを明らかにすることを目的とする。具体的には、本研究が含む以下の3つの要素に関連する事例および研究を検討する。

- アート作品の梱包に関する事例
- サステナブルデザインに関する事例・研究
- モジュラーデザインに関する事例

これにより、本研究の新規性と意義を示すとともに、既存の知見を応用・発展させるための可能性について検討する。

2.2. アート作品の梱包に関する事例

2.2.1 絵画専用郵送箱

ヤマト運輸が提供するアートボックス [5] や武蔵通商が提供するプレミアム梱包キット [6] といった商品は、従来のアート作品の梱包をより手軽かつ効率的にす

るための取り組みとして開発されたものである。これらは、アート作品を安全に保護することを第一の目的としながら、梱包作業の簡便化に挑戦している。本節では、2つの事例を取り上げ、それぞれの特徴と課題を考察する。

アートボックス

図 2.1 に示したアートボックスは、ヤマト運輸が提供する絵画専用の梱包資材である [5]。この製品は、サイズが 10 号（内寸：51cm × 59cm × 10cm）と 15 号（内寸：61cm × 73cm × 12cm）の 2 種類あり、それぞれ 1,800 円（税込）と 2,300 円（税込）で販売されている。購入者は作品のサイズに応じて適切なサイズを選ぶことができる。

外箱（天・地）、絵画固定用ダンボール（大・小）、平紐 4 本、そして説明書が含まれている。外箱は簡単に組み立てられる設計であり、固定用ダンボールにはスリットが施されており、これを折り曲げて紐で固定することで、作品の大きさにある程度柔軟に対応できる。一方で、外箱のサイズを超える作品には使用できないため、大型作品や特殊形状の作品には別途対応が必要となる。

また、ギャラリーや美術館だけでなく、個人が作品を発送する際にも便利である。特に、絵画を安全に梱包するための一式が揃っているため、専門知識がなくても安心して利用できる点が特徴である。一方で、インターネットで購入することが推奨されるが、注文から到着までに時間がかかる場合があり [7]、急ぎの際には適していない可能性がある。また、ヤマト運輸の営業所で販売されている場合もあるが、すべての営業所で在庫があるわけではなく、事前に確認が必要である。このため、利用者が即座に必要な梱包資材を確保することが難しいケースがあり、入手性の面で課題が残る。

本研究では、専門知識がなくてもアート作品の梱包が可能となるという価値を基にしつつ、より柔軟に多様なアート作品に対応でき、さらに手軽に組み立てられる梱包箱の実現を目指す。



(Source: クロネコマーケット [5])

図 2.1 アートボックス

プレミアム梱包キット

図 2.3 に示したプレミアム梱包キットは、武蔵通商が提供する美術品専用の高品質な梱包箱である [6]。このキットは、海外配送にも耐えうる強度を備え、大型の絵画や特殊サイズの作品にも対応可能な設計が特徴である。具体的には、以下のような特長を有している。まず、簡単な組み立てと固定が可能であり、マジックテープの採用により短時間で安全に梱包作業を完了できる。また、調整可能な固定具を備えており、幅広いサイズの作品に対応可能である。さらに、緩衝材と固定具が絵画を保護し、輸送中の衝撃や振動から作品を守る。強度が高いため、国内外問わず配送時の破損リスクを低減する点も評価されている。

また、標準サイズとしてSSからLLLまでの6種類を用意しており、規格外の大きさの作品には特注サイズや木箱で対応することも可能である。また、厚さ5mmのプラダンボールを使用しており、軽量で耐久性が高い点も特徴である。

このキットは、手軽さ、安全性、幅広いサイズへの対応を兼ね備えた梱包箱として有用な事例である。一方で、標準サイズに収まらない場合には特注対応が必要となることが課題として挙げられる。さらに、アート作品の売買において梱包は付随的な要素であるため、費用を抑えることが望ましいが、図 2.4 に示すように、本事例の製品は高額である点も課題となる。

	アートボックス10号（内寸（たて）51cmm（よこ）59cm（高さ）10cm）	1,800円（税込）
	アートボックス15号（内寸（たて）61cmm（よこ）73cm（高さ）12cm）	2,300円（税込）

(Source: クロネコマーケット [5])

図 2.2 アートボックスの価格表

このように、既存の事例では、高額な製品コストが課題となっている。しかし、本研究では、モジュラーデザインの構造を採用することで、ユニット単位での組み換えや再利用が可能となり、新たな梱包箱の調達を減らすことができる。さらに、本来廃棄されるはずだった芯材を活用することで、材料費の削減も期待される。



(Source: 美術品・楽器・高級家具物流.com [6])

図 2.3 プレミアム梱包キット

大きさ	対応サイズ (額縁を含む)	内寸	料金
SS	580×380～670×470 mm	800×600×100 mm	¥ 23,000
S	630×480～720×570 mm	850×700×100 mm	¥ 23,500
M	730×530～820×620 mm	950×750×100 mm	¥ 24,500
L	730×580～870×720 mm	1000×850×100 mm	¥ 25,500
LL	930×630～1070×770 mm	1200×900×100 mm	¥ 26,500
LLL	1080×730～1220×870 mm	1350×1000×100 mm	¥ 27,500

(Source: 美術品・楽器・高級家具物流.com [6])

図 2.4 プレミアム梱包キットのサイズ・価格表

2.2.2 再利用可能な梱包箱

リユーザブルクレート

近年、環境問題への関心の高まる中、美術品輸送においても環境負荷を低減する取り組みが進められている。その一例として、国立西洋美術館とヤマト運輸が共同開発したリユーザブルクレート [8] が挙げられる。本クレートは、従来の一度使用されると廃棄される特注の木箱とは異なり、繰り返し使用可能な構造を持つ点が特徴である。



(Source: 国立アートリサーチセンター [8])

図 2.5 リユーザブルクレート

このようなリユーザブルクレートは、すでに海外では一般的になりつつある [9] が、日本国内の美術館ではまだ導入例が少なく、国立西洋美術館でもこれまでは、作品の貸し出しごとに都度クレートを作製し、使用後に廃棄する方法を取っていた。そのため、今後はリユーザブルクレートの積極的な導入が検討されている。今回、国立アートリサーチセンターの協力のもと、国立西洋美術館とヤマト運輸が共同開発したリユーザブルクレートは、同館の海外輸送用クレートの仕様を基に、細部を改良したものである。木箱の内部には断熱材や緩衝材が組み込まれて

おり、長年の輸送時の温湿度データに基づく緩衝効果を考慮した設計となっている。また、内部の四隅の支えが可動式となっており、最大75×95cmまでの幅広いサイズの作品に対応できる柔軟な構造も特徴である。

リユーズブルクレートの導入により、資材の使用量や廃棄物の削減、クレートの作製と廃棄にかかる労働・時間・経費の削減が期待される。さらに、可動式の支えにより異なるサイズの作品に対応しやすく、輸送の効率化にもつながる。

一方で、最大の課題はリユーズブルクレートの保管スペースの確保である。特注のクレートと異なり、リユーズブルクレートは一定数を保管しておく必要があるが、美術館には十分な保管スペースが確保されていない。外部倉庫を借りる方法もあるが、費用がかかるほか、保管環境が適切でなければカビや害虫の発生による劣化リスクもある。

このような課題を解決する方法の一つとして、海外のようにリユーズブルクレートを専門業者が所有し、美術館へ貸し出す運用方式への移行が考えられるが、日本国内ではこのような取り組みはまだ導入されていない。一方で、本研究においてデザインされたモジュール式梱包箱は、保管スペースの柔軟な運用が可能であるため、こうした解決策の選択肢の一つとなることが期待されるだろう。

2.3. サステナブルデザインに関する事例・研究

2.3.1 リユース

リユースの観点では、製品そのものやその部品を別の用途に転用することで、廃棄物の削減と資源の有効活用を目指す取り組みが注目されている。その好例として、サムスンによる再利用可能な梱包箱が挙げられる。この取り組みでは、家電製品の梱包箱を家具やおもちゃ、ペットの家として再利用できるように設計されている [10]。



(Source: ギズモード・ジャパン [11])

図 2.6 再利用できる梱包資材

具体的には、梱包箱に印刷された QR コードをスキャンすることで、再利用のための組み立て手順が記載されたデジタル説明書を取得できる。これにより、利用者は特別な知識や道具を必要とせず、指示に従うだけで梱包箱を別の用途へ容易に再利用できる。

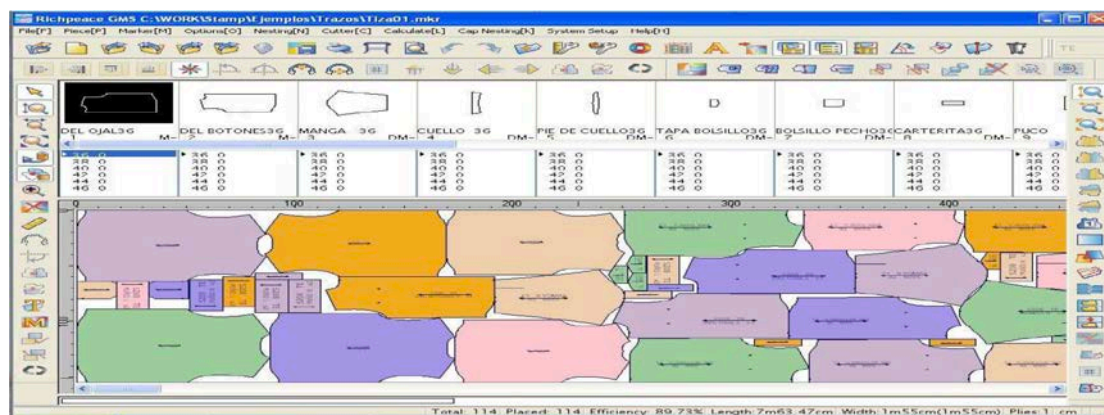
また、本取り組みは梱包箱の再利用を手軽に促すだけでなく、消費者が環境問題をより身近に感じ、自らの行動として体験できる点でも注目される。梱包箱は、ペットハウスや本棚など実用性の高いアイテムに変形できるため、消費者は再利

用のプロセスを通じて、廃棄物削減や資源活用の重要性を実感しやすくなる。このようなアプローチは、梱包材を単なる一時的な保護具としてではなく、持続可能な価値を持つデザインへと発展させる可能性を示している。

本研究で提案するアート作品の梱包箱にも、このようなリユースの視点を取り入れることが可能である。例えば、梱包箱を作品の輸送・保管に使用した後、展示用の台座として再利用できる設計を導入した場合、単に廃棄物を削減するだけでなく、利用者が環境意識に主体的に関与する体験を得ることができるのではないだろうか。

2.3.2 リデュース

リデュースの視点から注目すべき事例として、Pragya Sharma 氏が提案する DPDC (Designing, Pattern-making, Draping, Cutting) アプローチが挙げられる。ゼロウェイスト¹を目指したこのアプローチは、従来のファッション業界における 15 % に及ぶ生地廃棄物 (Cut and Sew Waste, CSW) をゼロにすることを目標しており、設計段階から無駄を排除する革新的な手法である [13]。



(Source: ZERO WASTE: EXPLORING ALTERNATIVES THROUGH FOLDING [13])

図 2.7 パターン配置ソフトによる生地使用率の視覚化

1 ゼロウェイストとは、廃棄物を体系的に回避・排除し、資源を節約・回収し、健康への脅威を排除するための製品とプロセスを設計および管理することを指す概念である。[12]

DPDCでは、デザイン、型紙作成、ドレーピング、裁断の各プロセスを統合することで、製造過程での材料廃棄を完全に排除することを可能にしている。特に、折り紙のような手法を応用し、一枚の布を無駄なく利用する点が特徴的である。この手法では、布地の形状や幅を考慮しながら、折りたたみや裁断を行うため、設計段階で廃棄物を生まない構造を実現する。これにより、素材の効率的な活用が図られるだけでなく、製品の持続可能性も高まる。



(Source: GOETHE INSTITUT [14])

図 2.8 DPDC プロセスを用いた衣服デザインの例

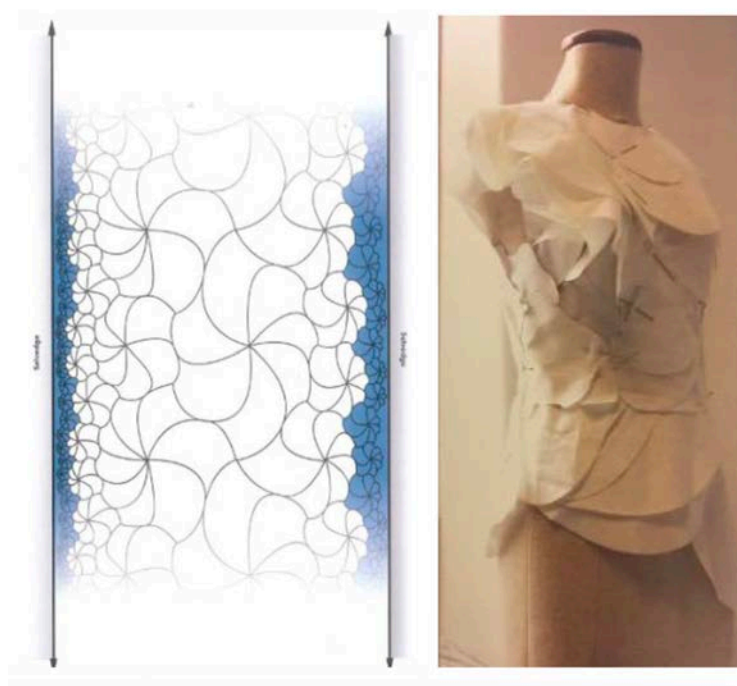
さらに、DPDCは、廃棄物削減にとどまらず、デザインプロセスそのものを変革する試みでもある。このアプローチは、従来のようにデザイナーがスケッチを起点とするのではなく、生地そのものを直接ドレーピングしながらデザインを進めることで、創造性を活かした直感的な設計を可能にする。例えば、折り紙のステップバイステップ技術を参考にすることで、布地を折りたたみ、切り込みを入れて衣服の開口部やシルエットを形成している [14]。このプロセスでは、生地廃棄物を最小限に抑えるだけでなく、廃材や小売店で余ったロールの端材をパッチワークして利用するなど、環境負荷軽減に貢献する革新的な試みが含まれている。

また、DPDCは簡便な構造を採用しており、完成した衣服が着用者の体に自然にフィットする柔軟性を備えている。このような手法により、製造者、デザイナー、裁断者といった関係者間の協働を促進し、効率的かつ持続可能な生産を実現して

いる。

さらに、Sharma 氏が発表した他の研究 [15] では、ゼロウェイストとモジュラーデザインの統合が試みられている。この統合により、衣服の製造過程で生じる裁断廃棄物の削減が可能となり、消費者は1着の衣服で複数のスタイルを楽しむデザインが実現される。これは、持続可能なファッション生産を達成するための多面的なデザイン手法であり、モジュラーデザインが持続可能性と深く関わっていることを示している。

以上の研究を参考にしつつ、本研究においても、従来のように一定の大きさのダンボール板から必要な分をカットして使用するのではなく、小さなパーツをパズルのように組み合わせて必要な形状を構成することで、端材を出さない設計を採用することにした。



(Source: ZERO WASTE AND MODULAR FASHION DESIGN [15])

図 2.9 ゼロウェイストパターン（左）と完成した衣服のプロトタイプ（右）

2.3.3 リサイクル

リサイクルの視点から注目すべき事例として、Adidas が展開する Parley for the Oceans プロジェクトが挙げられる [16]。このプロジェクトは、海洋環境保護団体 Parley for the Oceans と協力し、海岸や沿岸地域で回収されたプラスチック廃棄物を再利用する取り組みである。この取り組みでは、回収されたプラスチック廃棄物をアップサイクルした Parley Ocean Plastic を使用し、スポーツウェアやスニーカーなどの製品を製造している [17]。



(Source: WIRED [18])

図 2.10 Parley for the Oceans

この素材は、少なくとも 50%以上が海洋プラスチック廃棄物由来の再生糸で構成されており、環境への負荷を低減するための重要な役割を果たしている。また、Adidas はこのプロジェクトを通じて、ファッションとサステナビリティを融合させることで、消費者に環境問題への意識を喚起し、持続可能な未来の実現を目指している [16]。

さらに、Parley for the Oceans コレクションは、ファッション性と環境への配慮を兼ね備えたデザインである。この取り組みは、製品の製造プロセスにおいてリサイクル素材の活用を拡大するだけでなく、プラスチック廃棄物削減にも貢献している [17]。

本研究においても、Adidas のように廃棄物を新たな素材として再利用する視点は、アート梱包箱のデザインにも応用が可能であると考えられる。例えば、使用済みの梱包材やギャラリー内で発生した廃棄物を回収し、それを新たな梱包材に再利用する循環型デザインを導入することで、環境負荷の軽減に寄与することが期待される。

2.4. モジュラーデザインに関する事例

2.4.1 モジュラーデザインの概要

モジュラーデザインとは、製品、プロセス、またはシステムを独立したサブシステムやコンポーネントに分割し、それぞれを個別に開発し、組み立てられるように設計する手法である [19]。この設計アプローチにより、製品の多様性やカスタマイズが可能となり、同時に開発コストの削減や環境に配慮した廃棄戦略の実現を支援することができる [20]。

さらに、ファッションなどの分野でもモジュラーデザインの応用が進められている [15]。特に、ファッション分野では、モジュラーデザインが製品の寿命延長に寄与するだけでなく、見た目を楽しむという機能にも貢献している。以下では、ファッション分野および梱包におけるモジュラーデザインの応用事例について紹介する。

2.4.2 モジュラーファッション

ファッション業界における廃棄物削減の新しい試みとして、FabCafe クアランプールとデザイナーの Nelissa Hilman 氏が共同で取り組んだモジュラーバッグのプロジェクト [21] が挙げられる。このプロジェクトは、クアラルンプール・ファッションウィークに向けたショーケースの一環として、革の端材を最大限に活用することを目的に実施された。

このプロジェクトの特徴は、ブランドの靴の製造工程で発生する革の残骸のみを使用してバッグを制作するという挑戦にあった。伝統的なバッグ作りでは通常、



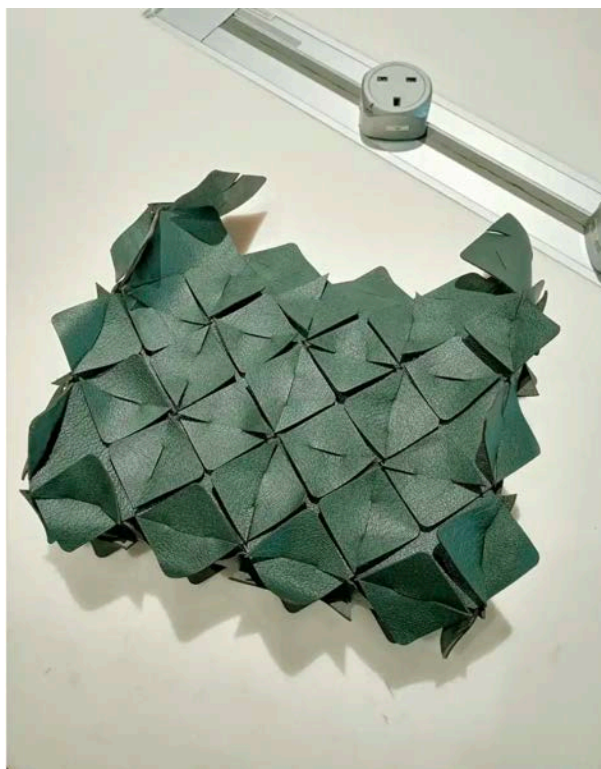
(Source: FabCafe [21])

図 2.11 Nelissa Hilman プロジェクト

大きな革を使用するが、本プロジェクトでは形や色が不揃いな小さな革の切れ端を組み合わせる必要があり、創造的な工夫が求められた。このような条件を満たすために、モジュラーデザインが採用された。

完成したバッグは、パーツ単位で構成されており、ユーザーが自身の用途や好みに応じて組み替えられる設計になっている。これにより、日常使いからビジネス、旅行用まで幅広い用途に対応可能である。また、壊れたパーツを交換することで製品全体を廃棄する必要がなく、製品寿命を延ばす仕組みを提供している。

本研究においても、このモジュラーデザインの考え方はアート作品の梱包箱の設計に応用可能である。たとえば、アート作品の多様な形状やサイズに対応できるだけでなく、箱の一部が汚れてしまった場合でも、モジュール式のデザインであれば、汚れたパーツのみを交換して再利用することが可能となる。このアプローチは、梱包箱の再利用性を向上させる上で重要な示唆を与えるものである。

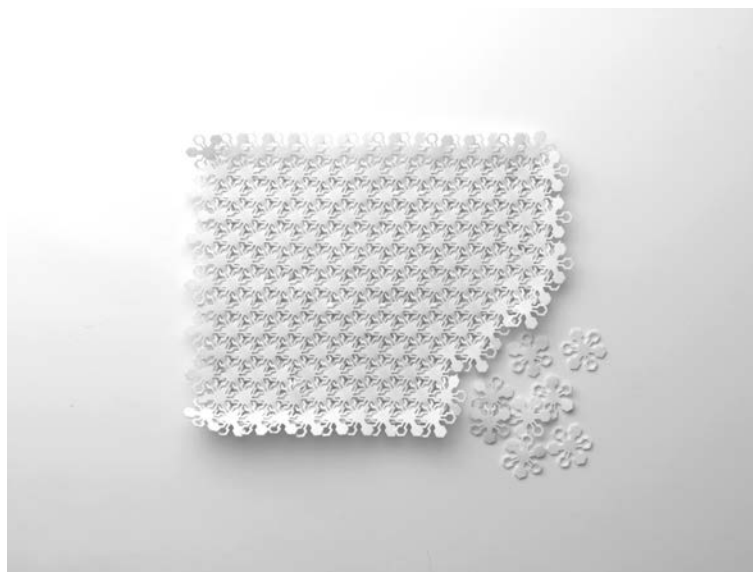


(Source: FabCafe [21])

図 2.12 モジュール式バッグ

2.4.3 モジュール式梱包材

モジュラーデザインの関連事例として、プロダクトデザイナー阿部憲嗣氏が開発したCY-BOを紹介する [22]。CY-BOは、生物の細胞接合から着想を得た新しい梱包材であり、個々のピースを組み合わせることで多様な形状に変化させることが可能である。この特性により、梱包材としての利用にとどまらず、ペンケースやバスケット、コースターなど、多用途に再構成できる点が特徴である。素材にはスポンジ状の耐水性材料が使用されており、組み合わせ方次第で高いクッション性や耐熱性を持たせることができる。さらに、廃棄プラスチックの削減を目指し、何度でも再利用可能な設計となっている。このように、CY-BOはモジュラーデザインの概念を取り入れ、機能性と持続可能性を両立させた革新的なプロダクトである。



(Source: KENJI ABE DESIGN [22])

図 2.13 モジュール式梱包材 CY-BO

CY-BO は、モジュラーデザインが持つ柔軟性や再利用性を最大限に活用した事例であり、本研究にも多くの示唆を与える。特に、個々のピースを自由に組み合わせて異なる形状を作り出すという仕組みは、本研究で提案するアート作品のモジュール式梱包箱のデザインにも応用可能である。異なるサイズや形状のアート作品に対応するためには、CY-BO のような可変性のある構造を取り入れることで、多様な用途に適応する梱包箱の実現が期待できる。

ただ、本研究において素材については慎重な選択が求められるだろう。より重量のあるアート作品に対応するため、ちぎれる可能性の低い素材が求められる。また、環境負荷の低減を図るため、リサイクル可能で環境負担の少ない素材を選定する必要がある。このような素材の検討は、本研究における梱包箱の持続可能性を高める上で重要な課題の一つである。

以上のように、CY-BO のモジュラーデザインは、本研究と同様に梱包材を対象としたアプローチであり、アート作品梱包箱のデザインにおける柔軟性や持続可能性に関する重要な示唆を提供している。

2.4.4 モジュール式マルチカバー

モジュラーデザインの関連事例として、プロダクトデザイナーでありアーティストでもある安藤健浩氏が手掛けた“CUMA” [23] が挙げられる。“CUMA”は、クマの形をしたユニットを組み合わせることで、自由自在にさまざまな形状を作り出すことができる作品である。ユニット単体でも、コップを置くためのコースターとして利用するなど、機能的な役割を果たすことが可能である。素材にはフェルトが使用されており、スクリーン、クッションカバー、照明用シェードなど、アイデア次第で多岐にわたる用途に応用できる点が特徴である。

この事例は、梱包材ではなくカバーとして機能し、より広範囲を保護できる点が特徴であり、特に画面の保護が求められるアート作品の梱包において有用な参考事例となる。



(Source: 安藤健浩デザイン室 [23])

図 2.14 フェルトユニット／CUMA

2.5. 本研究の新規性

本研究の新規性は、廃材を活用して梱包箱を作る手法を提案したこと、そしてモジュラーデザインを採用することで分解・再利用を可能にしたことの2点にある。

廃材を活用した持続可能な梱包設計

既存のアート作品の梱包は、作品ごとの多様なサイズや形状に対応するため、特注品の製作が一般的であり、その結果、費用負担の増大が課題として指摘されている。また、一度使用された梱包箱は、完全に同一のサイズ・形状を有する作品でなければ再利用が困難であり、さらに、軽微な汚損や破損が生じた場合でも再利用が制限されることが多い。これらの点は、アート作品の梱包における持続可能性や経済性の観点から重要な課題となっている。

本研究では、従来廃材として処分されていたテープや保護紙の芯材を活用し、梱包箱の設計を行った。これにより、廃材の再利用を促進し、廃棄に伴うエネルギー消費を削減することが可能となった。さらに、モジュラーデザインを採用することで、梱包箱の再利用性を向上させ、資源の無駄を削減するとともに、環境負荷の低減を実現した。

モジュラーデザインの導入による柔軟性の向上

以上でも述べた通り、従来のアート作品の梱包は、作品ごとに異なるサイズや形状に対応するため、個別設計が必要とされていた。その結果、費用負担の増大が課題として指摘されている。また、一度使用された梱包箱は、完全に同一のサイズ・形状を有する作品でなければ再利用が困難であり、さらに、軽微な汚損や破損が生じた場合でも再利用が制限されることが多い。このような点が、アート作品の梱包における持続可能性や経済性の観点から大きな課題となっている。さらに、従来の梱包箱は再利用を前提とした設計がなされていないため、廃棄しない限り新たな梱包箱が蓄積され、限られた保管スペースを圧迫するという問題も生じていた。

本研究では、モジュラーデザインを採用することで、組み換えや分解・再利用を可能にした。これにより、アート作品に応じて梱包箱のサイズや形状を柔軟に調整できるだけでなく、使用しない際には分解して省スペースで保管することができる。これらの特性により、梱包の柔軟性を高めるとともに、保管スペースの有効活用という新たな価値を提案した。

第 3 章

デザインプロセス

3.1. 概要

本研究では、従来の梱包手法では実現が難しかった柔軟性と持続可能性を両立するため、独自のモジュール構造を採用した梱包箱を設計し、その有効性を検証する。本研究における柔軟性とは、以下の通りだ。

柔軟性の定義

1. 多様な形状およびサイズのアート作品に対応し、梱包箱の形状や構造を柔軟に変形・調整できること
2. 梱包箱の一部が破損または汚損した場合、その部分のみを交換することで再利用可能であること
3. 梱包箱を分解後、効率的に収納できる構造を有し、保管スペースを最小限に抑えられること

本章では、これらの要件を満たすアート作品梱包箱の設計を模索し、その過程をデザインプロセスとして示す。具体的には、課題の特定から要件定義、プロトタイプの作成および評価、最終デザインの決定に至る一連の流れを詳細に記述する。また、各段階で考慮した背景や意図を明確化し、柔軟性と持続可能性を実現するための設計アプローチを明らかにする。

3.2. デザインコンセプト

3.2.1 既存梱包の課題分析

ギャラリー、アーティスト、そして梱包箱を手がける専門家へのインタビューを行った。これらの対話から、現状の課題や必要な機能を抽出し、それに基づきモジュール式梱包箱の設計方針を導き出した。

アート作品梱包に関する現状の課題とニーズを把握するため、ギャラリー関係者6名、アーティスト4名、梱包箱の製作者1名にインタビューを行った。特に、ギャラリーとアーティストという二つの視点に加え、ギャラリーでの勤務経験を持ち、アート作品に特化した梱包箱について詳しい専門家の視点も取り入れたことで、多角的な意見を収集することができた。また、立場や経験が異なるインタビュー対象者の間でも、共通して見られる課題やニーズが浮かび上がった。それぞれの視点から得られた知見を以下に述べる。

梱包箱製作者へのインタビュー

アート作品の梱包箱製作においては、さし箱¹やかぶせ箱²といった特注品が多く採用されている。しかし、これらは他の業界の梱包箱と異なり、依頼ごとにサイズを測定し、一から製作する必要があるため、製作工程における手間が大きいという課題が指摘された。

また、美術輸送に特化していない運送業者では、アート作品の梱包に関する知識が十分ではない場合があり、その結果、梱包作業が円滑に進まないケースも少なくない。このような状況から、アート作品の梱包には専門的な知識が求められ、一般の梱包作業と比べて難易度が高いと考えられる。

一方で、モジュール式の梱包箱というコンセプトに対する感想としては、特に

-
- 1 画廊等で購入する絵画付き額縁用によく使われる箱。箱の耐久性も強く持ち運びにも便利で、額縁用だけでなく作品用としても利用可能である。[24]
 - 2 一般的によく使われる額縁用のダンボール上下箱。デッサン額縁・油彩額縁・その他額縁、作品用、梱包用に最適である。[24]

立体作品の梱包に適した有望なアプローチであるとの意見があった。モジュラーデザインを採用することで、多様なサイズや形状に柔軟に対応できるだけでなく、輸送費の削減にもつながる可能性がある。例えば、折りたたみ可能な梱包箱の設計も考えられるのではないか という提案も寄せられた。



図 3.1 従来の梱包方法（立体作品）

ギャラリー関係者へのインタビュー

ギャラリー関係者へのインタビューでは、平面作品に対しては黄袋³やタトウ箱⁴が一般的に用いられているが、立体作品では形状やサイズに合わせた梱包が必要となり、梱包作業が煩雑になるという声が聞かれた。また、アート作品の場合、梱包箱はあくまでサブの役割であり、作品そのものがメインであることから、いかに梱包にかかる費用を削減できるかが重要視されている。

3 額縁や作品を入れる黄色い布袋。[24]

4 高級絵画を入れる布製の箱。耐久性も強く作品の出し入れに便利。[24]



図 3.2 従来の梱包方法（平面作品）

また、海外のコレクターとの取引がある場合、コレクターが引き取りに来るまで、または輸送で送るまでの間、作品をバックスペースに保管しておく必要があるという現状が課題として挙げられた。そして、一時的に作品を保管するためだけに梱包箱を製作するのは手間がかかり、効率的ではないとされている。

さらに、使用後に梱包箱を崩した後、その箱が嵩張ることも大きな問題である。輸送中の安全性を確保しつつ、簡便でコストパフォーマンスの高い梱包箱が求められており、未使用時に梱包箱を畳んで保管できる省スペース性や、専門知識を持たないスタッフでも容易に扱える設計が必要であるとの声が多かった。

アーティストへのインタビュー

アーティストからは、主に展覧会や輸送における梱包材の利用状況や課題について、具体的な事例を交えた意見が得られた。特に、展覧会で使用される壁材や台座が使い捨てられることが多く、大量の無駄が生じているという指摘があった。これらの資材が再利用可能な設計であれば、他の展覧会でも使い回すことができ、資材費の削減や環境負荷の軽減につながる可能性が示唆された。



図 3.3 緩衝材として使用されるエコクッション

また、梱包箱についても同様に、再利用が難しく使い捨てられるケースが多いことが課題として挙げられた。特に、梱包箱は輸送後の保管に適していないものが多く、作品を購入したコレクターが保管に困ることも少なくないという。アーティストの中には、こうした課題を意識し、毎回大量に使用する梱包用のクッション材や紐を含めて、素材を捨ててしまうのが勿体ないと感じている例もあった。このため、一度使用した梱包箱と余った素材を活用して新しい梱包箱を作るなど、独自の工夫を行っている。アーティスト自身が梱包箱を製作する場合もあり、中には図 3.4 のような「コンセプチュアル梱包箱」として、作品の世界観に関連付けた梱包箱を作品と一緒に製作するケースも見られる。こうした取り組みの背景には、高額な金額を支払って作品を購入してくれた顧客に喜んでもらいたいというアーティストの思いがある。



図 3.4 コンセプチュアル梱包箱

さらに、輸送効率や省スペース化への要望も多く聞かれた。例えば、未使用時には梱包箱を折りたたむことができる設計や、梱包箱がそのまま保管箱としても機能するデザインへの期待が寄せられた。

総じて、アーティストからの意見は、梱包箱が単なる保護ツールとしての役割

を超え、作品の価値を補完しつつ、再利用可能かつ省スペースを叶えるデザインを追求する必要性を強調するものであった。

課題の総括

3.2.2 インタビューを通じて浮き彫りとなった課題

インタビューを通じて、以下の課題が明らかになった。

1. 多様なサイズや形状への対応が手間である

- アート作品はサイズや形状が多岐にわたり、既存の規格化された梱包箱では対応しきれないケースが多い。
- そのため、特注対応を行うか、ギャラリーやアーティスト自身が梱包箱を製作する必要がある。
- しかし、どちらの方法でも費用や時間の負担が増加し、特にギャラリーやアーティストにとって大きな手間となる。

2. 使用済みの梱包材が再利用できていない

- 現在多く使用されているエアパッキンやウレタンフォームなどの梱包材や梱包箱は、汚れや破損により廃棄せざるを得ないことが多い。
- その結果、環境負荷が増大し、持続可能性の観点からも課題が指摘されている。

3. 梱包箱が未使用時にスペースを取る

- 梱包箱は未使用時にかさばるため、省スペース化が困難である。
- 限られた収納スペースの中で梱包箱を保管することが、ギャラリーやアーティストにとって大きな負担となる。

3.2.3 デザインの要件とアプローチの決定

アート作品の梱包箱に求められる機能面および環境面での要件を整理した結果、以下の課題が明らかになった。

- 機能面の要件

- － 多様なサイズや形状への柔軟性
- － 省スペース性
- － 輸送中の安全性
- － 効率性・使いやすさ

- 環境面の要件

- － 再利用可能な構造
- － 廃材の削減
- － 持続可能性の向上

これらの要件を満たすためには、柔軟性、実用性、持続可能性の3つを統合的に解決できるデザインアプローチが必要であると考えられる。特に、多様なアート作品に対応するためには、梱包箱の形状やサイズを柔軟に調整可能な設計が不可欠であり、環境負荷の低減を目指す上では、素材の再利用性や廃棄物削減が必須である。

これらの要件を踏まえた検討の結果、本研究ではモジュラーデザインを採用することを決定した。モジュラーデザインは、複数のユニットを組み合わせることによって多様なサイズや形状に対応可能であるだけでなく、破損したユニットを個別に交換できるため、廃材の発生を抑えることができる。また、未使用時にユニットを分解して保管できるため、省スペース化にも寄与することが期待される。このように、モジュラーデザインは機能面と環境面の双方の要件を満たす最適なアプローチとして採用された。

以上をもとに、本研究ではモジュラーデザインを活用し、柔軟性と持続可能性を兼ね備えたアート作品用梱包箱の設計を進める。具体的なデザインプロセスについては、次節より説明する。

3.3. プレプロトタイプ：ベーシックスロットモジュール

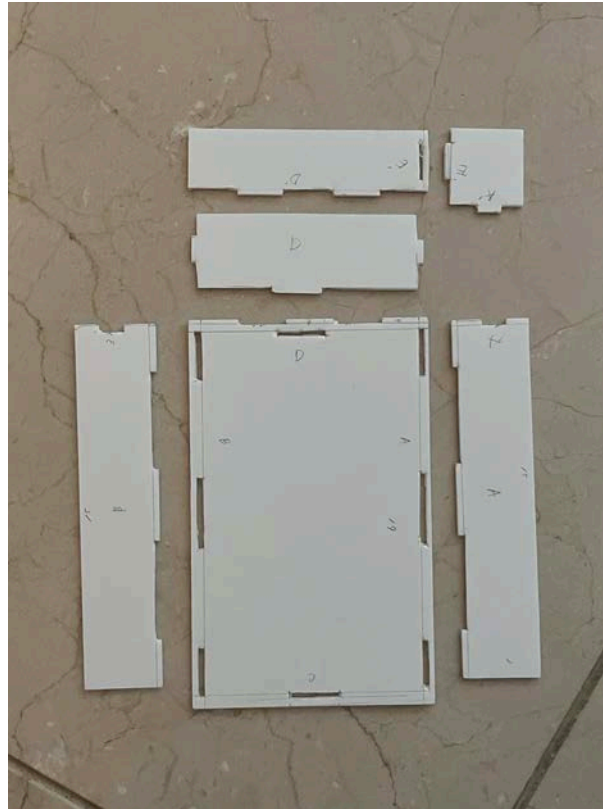


図 3.5 プレプロトタイプ

3.3.1 目的

初期段階で、モジュール式梱包箱の基本的な機能を検証することを目的としたシンプルなモデルである。このプロトタイプでは、特に接続部分の組み立てや分解のしやすさ、基礎的な保持力を確認することを狙いとしている。



図 3.6 プレプロトタイプ - 組み立て後

3.3.2 設計内容

このプロトタイプでは、軽量で加工が容易で初期段階の試作に適していると考えたため、厚さ 5mm のスチレンボードを使用した。スチレンボードに長方形の穴を開け、対応する凸の突起を差し込むシンプルな構造を採用した。

3.3.3 評価と課題

検証の結果、このプロトタイプは以下の成果をもたらした。長方形の穴と突起によるシンプルな構造が、最低限の保持力を提供することが確認された。

一方で、いくつかの課題も明らかになった。横方向の力に対する耐性が不足しており、接続部分が緩む傾向が見られた。また、スチレンボード自体が脆いため、繰り返しの使用で突起部分が劣化する問題が発生した。

3.3.4 次回プロトタイプに向けた改善点

以上の結果を踏まえ、次の段階では以下の改良点を重点的に検討する必要があると結論づけた。横方向の力に耐えられるよう、接続部分の設計を工夫することが求められる。また、繰り返し使用による劣化を防ぐため、より耐久性の高い接続構造を検討する必要がある。さらに、環境負荷を低減するため、リサイクル可能な素材を使用することとした。

これらの改良点を反映するため、次のプロトタイプではダンボールを素材として、「ロックパズル」の構造を採用し、接続部分の強度と安定性を向上させる設計に取り組むこととなった。

3.4. プロトタイプ1：ロックパズルモジュール

3.4.1 目的

ブレプロトタイプで明らかになった課題を解決するため、接続部分の安定性を強化し、横方向の力に耐えられるデザインを検証することを目的とした。

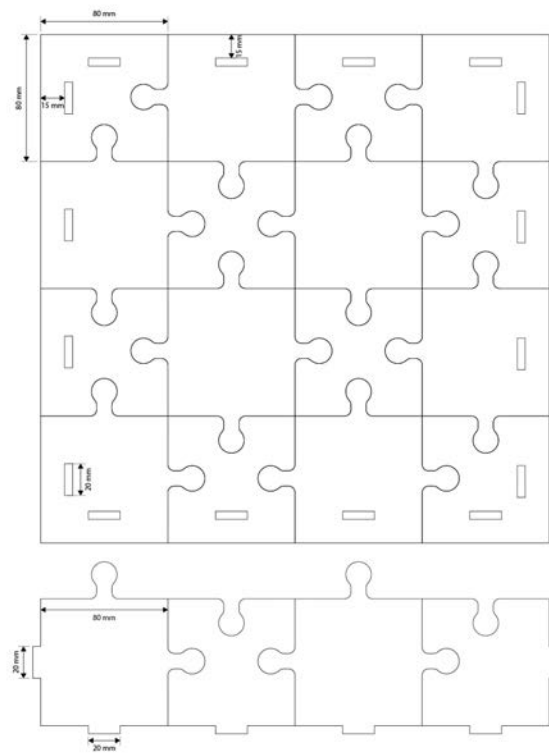


図 3.7 プロトタイプ1 - 図面

3.4.2 設計内容

このプロトタイプでは、厚さ5mmのダンボールを使用した。ダンボールはスチレンボードに比べて耐久性が高く、加工のしやすさとコスト面でも優れている素材である。接続部分の構造を改良し、凸部分の先端をフック状にすることで、組み合わせた際に横方向の力が加わっても外れにくい設計を採用した。また、接続部分が噛み合う際によりしっかり固定されるよう、突起部分の角度や深さも調整した。

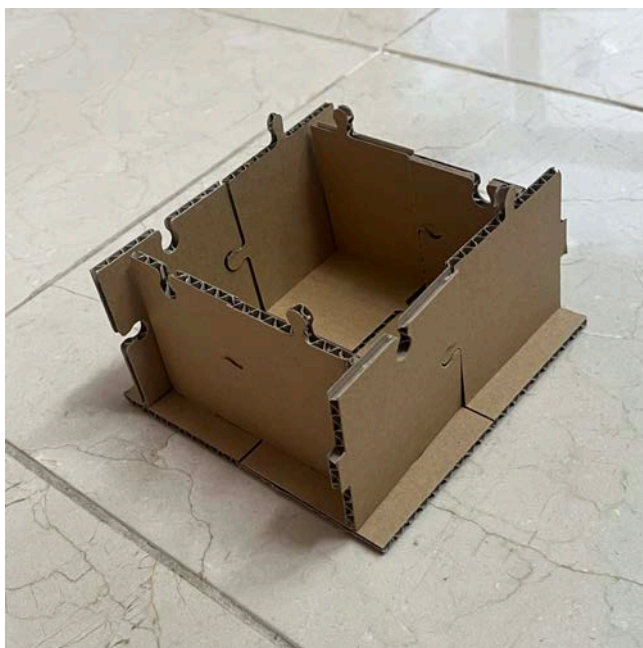


図 3.8 プロトタイプ1

3.4.3 評価と課題

プロトタイプ1の評価は以下の通りだ。まず、パズル型ジョイントの設計により、横方向の接続においては非常に安定しており、外れにくい構造が実現された。この結果、組み立て後の保持力が大幅に向上し、箱としての自立性を確保できるデザインとなった。一方で、縦方向の接続に関しては、強い力が加わるとユニッ

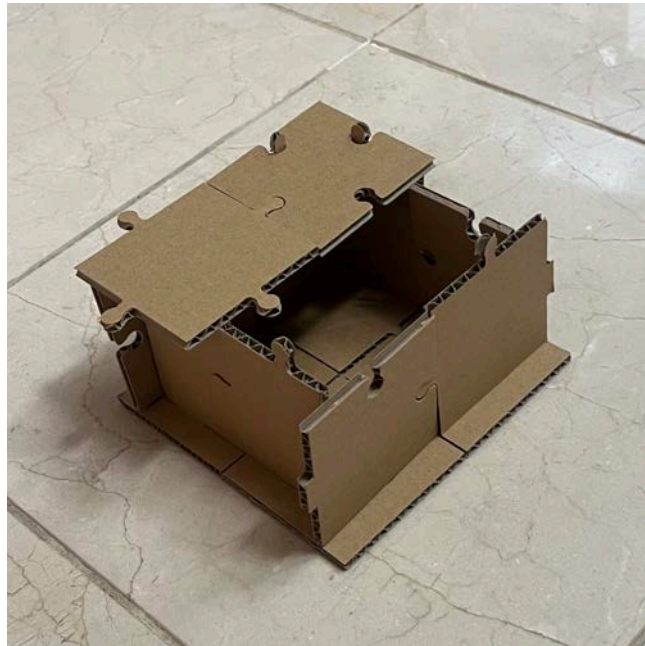


図 3.9 プロトタイプ1 - 蓋付

トが外れてしまう課題が確認された。さらに、垂直方向の接続時に穴の中でパーツがずれる傾向があり、組み立て時の安定性に課題が残った。

また、接続部分を「パズル」「タブ」「スロット」に分けたことで、パーツの種類が増加し、全体の構造が複雑で分かりにくいという問題が生じた。加えて、ダンボールのカット位置が縁に近すぎる場合、切れやすいという素材特性が影響し、穴の位置を縁から大きく離さざるを得なかった。その結果、組み立てた際に接合部に大きな出っ張りが生じ、見た目や実用性に影響を与える要因となった。

3.4.4 次回プロトタイプに向けた改善点

以上に述べた知見を踏まえ、次回のプロトタイプでは以下の改善点を取り入れる必要がある。ユニット同士を水平および垂直に接続する際のわかりやすさと円滑さを向上させるため、両方の接続部分を共通の構造に統一することとした。

次の段階では、「タブスロットユニット」と呼ばれる設計を採用し、複数のユニットを組み合わせることでさらなる強度と効率性を追求する。

3.5. プロトタイプ2：タブスロットモジュール

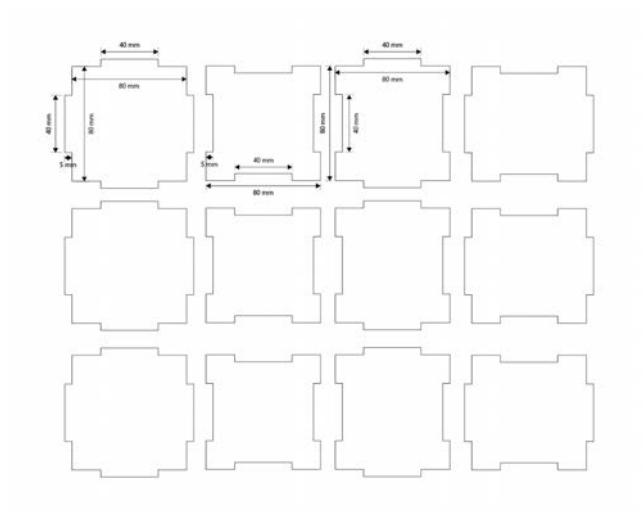


図 3.10 プロトタイプ 2 - 図面 1

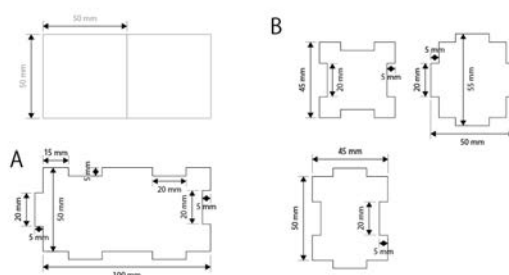


図 3.11 プロトタイプ 2 - 図面 2

3.5.1 目的

プロトタイプ1で確認された課題を解決するため、接続部分の構造を単純化し、ユニットのサイズのバリエーションを増やすことで、より多様な形状に対応しやすくした。さらに、ユニットのサイズを大きくすることで強度の向上を図った。本

プロトタイプの目的は、これらの変更が組み立ての容易さと強度の改善に寄与するかを検証することである。

3.5.2 設計内容

プロトタイプ2では、正方形および長方形のユニットにタブとスロットを設けた構造を採用した。この設計により、複数のユニットを組み合わせることで、箱全体のサイズや形状を柔軟に調整できると考えた。また、長方形ユニットは、ユニットをずらして組み合わせることでつなぎの役割を果たし、加圧に対する耐性を向上させることを試みた。素材には、引き続き厚さ 5mm のダンボールを使用した。



図 3.12 プロトタイプ2 - バリエーション1



図 3.13 プロトタイプ2 - バリエーション2

3.5.3 評価と課題

プロトタイプ2の組み立て後、以下の課題が明らかになった。まず、タブとスロットの設計により、パーツ間の接続が比較的直感的に行えるようになり、組み立て作業の負担が軽減された。一方で、箱全体の強度が十分に確保されず、接続部分が簡単に外れてしまうという課題が発生した。この問題は特に、ユニットの接続方向と同じ方法に力が加わる場面で顕著に見られた。



図 3.14 プロトタイプ2 - 梱包の様子

3.5.4 テストの実施

さらなる現実的な評価を得て次のデザインに反映させるため、ギャラリー担当者およびアーティスト4名を対象にテストを実施した。本評価の目的は、以下の4つの項目について、アート作品の梱包経験がある人がどのように感じるかを明らかにし、得られたフィードバックや洞察を基に次のデザインの指針を見出すことである。評価は、以下のプロセスと基準に基づいて実施された。

評価は、まず被験者にプロトタイプの組み立ておよび分解作業を行ってもらった後、以下の4つの観点について5段階評価によるアンケートを実施した。加えて、被験者から個別的にフィードバックを得た。

1. 組み立て作業の直感性：初見での操作がどの程度直感的に理解できるか。
2. 分解作業のしやすさ：組み立ておよび分解作業がどの程度簡単に行えるか。
3. 保管機能の適切性：アート作品を安全に保管できるか。
4. 梱包箱の強度：梱包箱が輸送や保管中の衝撃にどの程度耐えられるか。

その結果、操作の直感性や作業のしやすさが比較的高く評価される一方で、強度に関する課題が明らかになった。

結果と考察

モジュール式梱包箱の組み立ておよび分解の実用性、保管機能、強度に関する使用者の評価を以下に示し、考察を行う。

Q1. 組み立ては直感的でしたか？

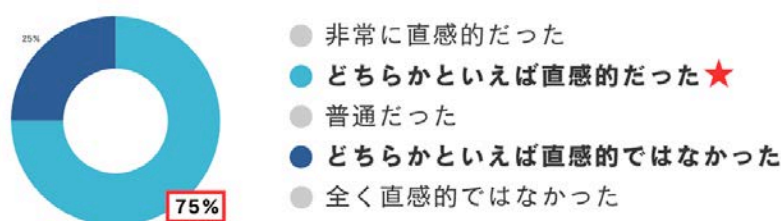


図 3.15 「組み立て作業の直感性」についての回答分布

組み立て作業の直感性

図 3.15 に示すように、「組み立て作業は直感的でしたか？」という問いに対し、4人中3人（75%）の回答者が「どちらかといえば直感的だった」と評価した一方、1人（25%）が「どちらかといえば直感的ではなかった」と回答した。

組み立て作業について、大半の被験者が直感的に操作できると評価した一方で、一部には操作性に改善の余地があることが分かった。直感的に操作できないと感じた理由に関して、組み立てが進むにつれて作業の手が遅くなる様子が観察された。このことから、被験者は、接続部分に適合するタブとスロットを持つユニットを選ぶ必要があることに加え、余った部分に合うサイズのユニットを探す必要があり、これらを同時に考慮するのに難しさを感じた可能性がある。

特に、ユニットの種類（正方形と長方形）と接続部分の形状が複数あることで、どのユニットを選べば適切に接続できるか、さらにそのサイズが適合するかを判断する必要があり、この点が組み立ての複雑さを増していると考えられる。こうした要素が、作業のスムーズさを妨げる要因となっている可能性がある。

一方で、「ユニットの規格が揃っているため習得が早そう」、「慣れれば慣れるほどアイデアも広がりそう」といったポジティブなフィードバックも得られた。今回のテストでは組み立て・分解作業を1回のみ行ったが、繰り返し作業を行うことで、使用に慣れて使いやすさが向上し、ユニットの組み合わせ方に幅が広がる可能性が期待される。

Q2. 分解作業のしやすさについてどう感じましたか？

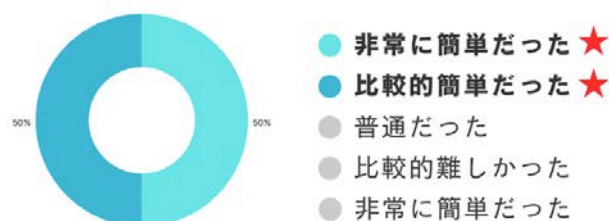


図 3.16 「分解作業の容易さ」についての回答分布

分解作業のしやすさ

図 3.16 を参照すると、「分解作業のしやすさについてどう感じましたか？」という問いに対し、2人（50%）が「比較的簡単だった」、残りの2人（50%）が「非常に簡単だった」と回答した。

つまり分解作業の評価において全ての回答者が肯定的な回答を示したことから、タブとスロットで接続する方法は、分解作業のしやすさという点においては非常に優れていると考えられる。梱包箱の再利用性や部分交換の効率性が高いことを裏付ける結果である。

分解作業の評価において、全ての回答者が肯定的な回答を示したことから、タブとスロットによる接続方法は分解作業のしやすさという点で非常に優れていると考えられる。これにより、梱包箱の再利用性や部分交換の効率性が高いことが裏付けられた。

しかし、分解作業が容易であるという特性は、強度が十分でない可能性を示唆している。実際に、「完成後の梱包箱の強度についてどう感じましたか？」の問いでは、3人（75%）が「少し弱いと感じた」と回答しており、大半の回答者が強度に不安を感じていることが明らかになった。タブとスロットを用いてユニットを接続する方法では、接続部分が負荷や衝撃に弱くなる場合があるため、耐久性の向上が課題として挙げられる。

今後の改良では、分解作業のしやすさを維持しつつ、接続部分の強度を向上させる設計が求められる。

Q3. アート作品の一時的な保管場所として機能すると感じましたか？

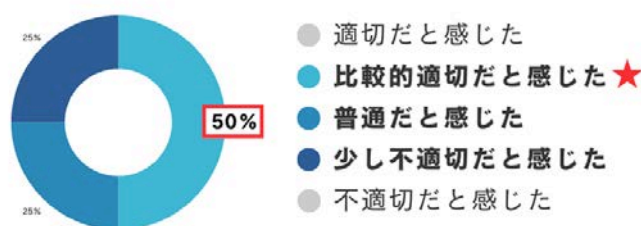


図 3.17 「アート作品の一時保管場所としての適切性」についての回答分布

保管機能の適切性

図 3.17 を参照すると、「アート作品の一時的な保管場所として適切に機能すると思いますか？」という問いに対して、2人（50%）が「比較的適切だと感じた」と回答した一方で、「普通だと感じた」、「少し不適切だと感じた」と回答した人が1人ずついた。

半数である2人の回答者が保管機能を適切と評価した一方で、1人が不適切と感じたことから、保護機能、特に強度と耐久性に対する懸念が残ることが示唆された。また、保管機能においては輸送時と異なり、カビの防止といった保管に必

要な要件にも配慮が求められる。しかし、今回評価したプロトタイプ2は大きさが可変であることに特化しており、これらの要件への対応は十分に考慮されていない。この点については、次のデザイン改良において検討が必要である。

Q4. 梱包箱の強度についてどう感じましたか？

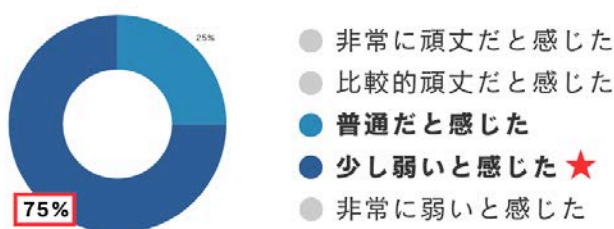


図 3.18 「梱包箱の強度」についての回答分布

梱包箱の強度

図 3.18 に示されているように、「完成後の梱包箱の強度についてどう感じましたか？」の問いでは、3人（75%）が「少し弱いと感じた」、残りの1人（25%）が「普通だと感じた」と回答した。

強度に関する評価では、被験者の大半が梱包箱の強度に課題を感じており、耐荷重性や衝撃吸収性能の不足が明確となった。特に、作品が大きくなるほど重量も増加するため、さらに強度を補強する必要があるとの指摘があった。具体的な改善案として、「強度を補強するために二重、三重構造にする必要があるかもしれない」という意見も挙げられた。このように、強度はアート作品の梱包箱における最も重要な要件の1つであり、今後のデザイン改良において最優先すべき課題であることが改めて明らかになった。

3.5.5 次回プロトタイプに向けた改善点

プロトタイプ2を含めたこれまでのプロトタイプで得た洞察を踏まえ、次回のデザインでは根本的な設計変更が必要であると判断した。これまでのプロトタイプでは、平面的なダンボール板を接続する方法を採用してきたが、このアプローチでは接続部分が外れやすく、その結果、強度が不十分であるといった課題が解決しきれなかった。そのため、次回のプロトタイプでは、接続方法や構造そのものを大きく見直し、抜本的な改良を試みることにした。

力が加わった際に外れにくい構造を実現するためには、接続部分および構造の設計を根本的に見直す必要がある。強度不足の原因を分析した結果、接続方向とユニットを追加する方向の関係性に課題があることが明らかになった。従来の設計では、図 3.19 のように、ダンボール板同士の接続部分の嵌合方向とユニットを拡張する方向が一致していた。そのため、新しく追加されたユニットに引張力や圧力がかかると、接続部分が外れやすくなるという問題が生じていた。この点を改善することで、接続部分の耐久性を向上させ、梱包箱全体の強度を大幅に向上させることが期待される。

以上の改善点を実現するため、次回のプロトタイプでは「スリットシリンダー」と呼ばれる円筒形のユニットを採用することを決定した。図 3.20 に示したように、この設計は、これまでのダンボール板を接続する方法から離れ、スリットの入った円筒同士を接続していく構造を用いることで、立体的な組み立てが可能になる。これにより、接続部分の強度を向上させるとともに、柔軟性と強度を両立するデザインを目指す。

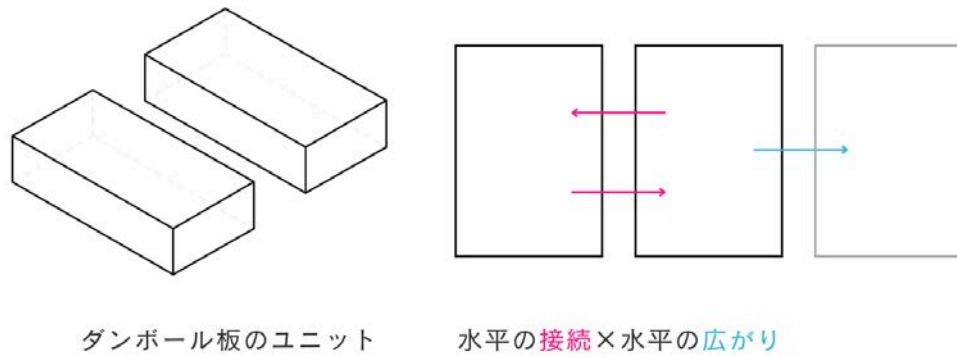


図 3.19 ダンボール板のユニットの仕組み

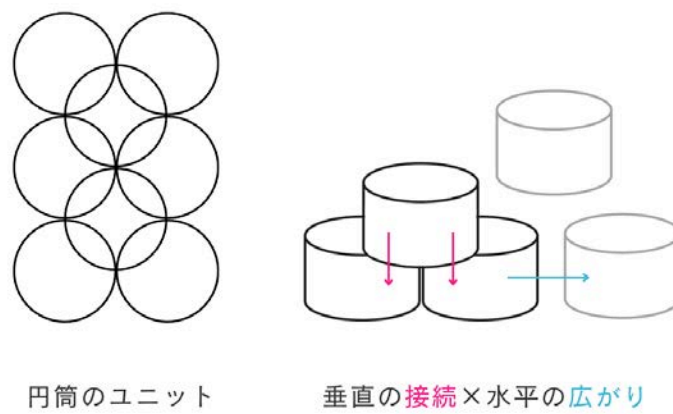


図 3.20 円筒のユニットの仕組み

3.6. 最終デザイン：スリットシリンダーモジュール



図 3.21 梱包箱の蓋を開けた状態

3.6.1 設計内容

プロトタイプ2の反省を踏まえ、力が加わった際に外れにくく、より強度のある構造を実現するため、接続部分および全体の構造設計を根本的に見直した。その結果、最終デザインでは「スリットシリンダー」と呼ばれる円筒形のユニットを採用することとした。素材には、直径4cm、厚さ1mmのトイレットペーパーの芯を使用しており、これは廃棄されるはずの材料を再利用することを目的としている。また、この素材は、ギャラリーや美術館、アーティスト個人の自宅など、どこでも容易に手に入るという利便性も考慮して選定した。

ユニットは2種類で構成されており、高さ2cmの短い円筒と高さ5cmの長い円筒を用意した。短い円筒ユニットには十字状に4つのスリットを配置し、長い円筒ユニットには上下それぞれに4つずつ、計8つのスリットを設けた。



図 3.22 梱包箱を閉じた状態

最終デザインは図 3.23 のように最小単位である円筒ユニット単体まで分解することが可能だが、組み立ておよび分解の際にかかる時間を考慮して、図 3.24 に示すような5つの円筒ユニットを繋げた状態を基本単位と呼ぶこととした。

3.6.2 評価の指針

最終デザインの評価は、第4章において記載する。評価は、柔軟性、実用性、持続可能性の3つの観点から実施する。柔軟性では、梱包経験者を対象に組み立て・分解作業のテストやアンケートを行い、多様な作品への対応力を評価する。実用性では、落下テストや輸送テストを行い衝撃耐性を検証する。持続可能性では、LCA ツールを用いて環境負荷の低減効果を算出する。

以上3つの観点から、本研究の最終デザインの有効性を評価する。



図 3.23 最小単位のユニット



図 3.24 基本単位のユニット

第 4 章

評価

4.1. 基本方針

最終デザインの評価は、柔軟性、実用性、持続可能性の3つの観点に基づいて実施する。

柔軟性の評価では、梱包経験者を対象に組み立ておよび分解作業のテストを行い、その操作性や作業のしやすさ、多様な作品のサイズや形状への対応力について、アンケートやインタビューを通じて意見を収集した。

実用性の評価では、輸送中の振動や衝撃に対する耐久性を検証するため、落下テストや輸送テストを実施した。

持続可能性の評価では、LCA ツールを用いて、最終デザインが環境負荷の低減にどの程度寄与するかを定量的に算出した。

これら3つの観点から、多角的に最終デザインの有効性を検証することで、本研究のリサーチクエスションである「モジュラーデザインを採用することで、アート作品の多様なサイズや形状に対応し、組み立てや分解が容易で、再利用可能な柔軟性の高い梱包箱を設計できるか」、そして「モジュラーデザインを活用して端材や廃材の発生を削減し、環境負担を軽減できるか」という問いへの答えを探る。

4.2. 柔軟性の評価

4.2.1 はじめに

柔軟性の評価を実施するにあたり、本研究における梱包箱の柔軟性を以下のように定義する。柔軟性とは、以下の3つの要素を含む概念である。

1. 多様な形状およびサイズのアート作品に対応し、梱包箱の形状や構造を柔軟に変形・調整できること
2. 梱包箱の一部が破損または汚損した場合、その部分のみを交換することで再利用可能であること
3. 梱包箱を分解後、効率的に収納できる構造を有し、保管スペースを最小限に抑えられること

柔軟性の評価の目的は、被験者に最終デザインの組み立ておよび分解作業を実際に行ってもらい、その後、以上で示した項目についてアンケートを通じて実務の観点から率直な意見を収集することである。さらに、アンケートでは把握しきれない詳細な意見や課題、並びに他の用途への展開可能性については、個別インタビューを通じて収集し、最終デザインの柔軟性を多角的に検証するとともに、改善の方向性を探ることを目指している。

4.2.2 評価方法

対象

アート作品の梱包経験を持つギャラリースタッフやアーティストを対象とした。

人数

評価に参加した被験者は16名である。

評価内容

被験者に研究内容を説明した後、最終デザインの試作品を用いて組み立ておよび分解テストを実施してもらった。その後、アンケートを実施し、各項目について5段階で評価を依頼した。また、アンケートに加え、個別インタビューを通じて最終デザインに対する率直な意見や感想を収集した。

評価基準

柔軟性の評価基準として、被験者による5段階評価のうち、項目1,2,3,6に関しては「4」または「5」、項目4,5に関しては「1」「2」を肯定的評価と定義する。その割合に応じて以下のように評価段階を設定する。

被験者の50%以上が肯定的評価を示した場合、一部達成とみなし、柔軟性がある程度認められたと判断する。一方で、被験者の75%以上が肯定的評価を示した場合は、完全達成とみなし、柔軟性が十分に認められたと評価する。

- 被験者の50%以上が肯定的評価を示した場合：基準を一部達成とみなし、改善の余地があるが、柔軟性がある程度認められたと判断する。
- 被験者の75%以上が肯定的評価を示した場合：基準を完全達成とみなし、柔軟性が十分に認められたと評価する。

評価の客観性を高めるため、アンケートの回答割合に関して定量的な分析も行うが、組み立て・分解テスト中の観察や個別インタビューで得られた意見を重視して考察を行う。

アンケートの質問項目

アンケートでは、以下の項目について評価を行った。

1. この梱包箱はサイズ・形状に応じて柔軟に対応できると感じましたか？
2. 工具を使わずに組み立てられると感じましたか？
3. 分解作業は簡単だと感じましたか？
4. 分解作業の際に部品が破損するリスクを感じましたか？
5. ユニットがより厚い芯材でできている場合、部品が破損するリスクを感じると思いますか？
6. 分解後、ユニットの収納や整理がしやすいと感じましたか？



図 4.1 組み立てテストの様子

4.2.3 結果と考察

結果

以下に、柔軟性の評価に関するアンケート結果を示す。

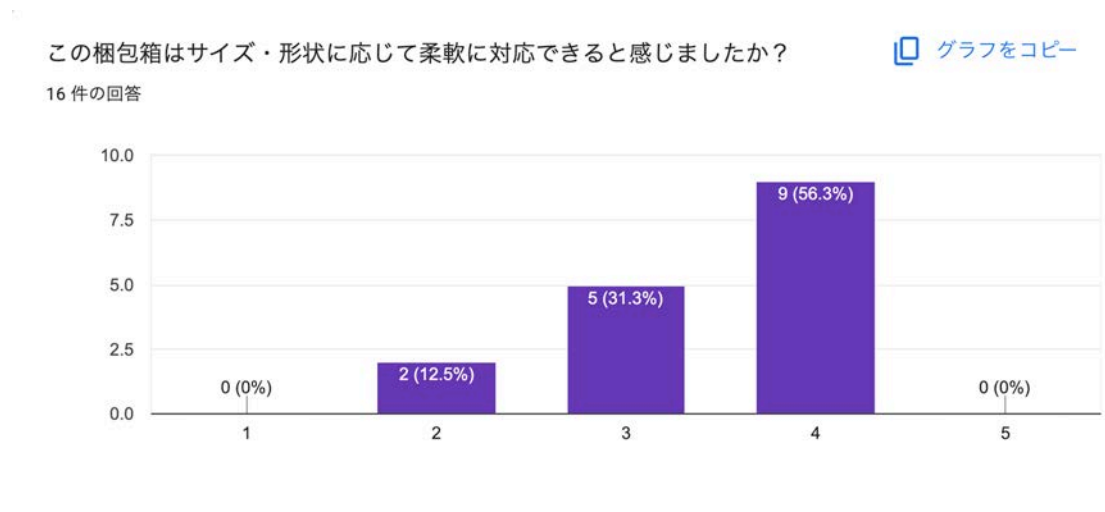


図 4.2 「多様なサイズ・形状への汎用性」についての回答分布

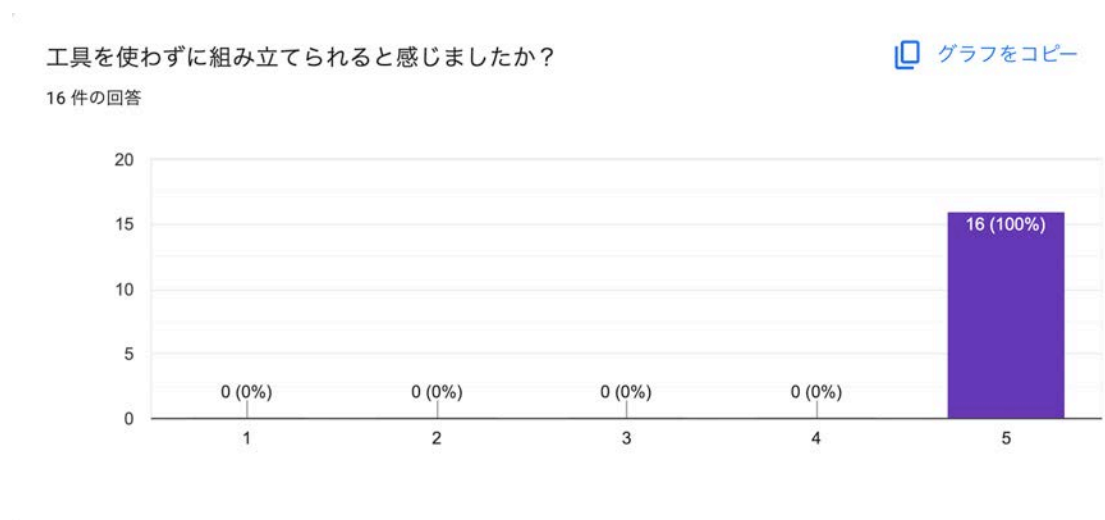


図 4.3 「工具なしでの組み立ての実現性」についての回答分布

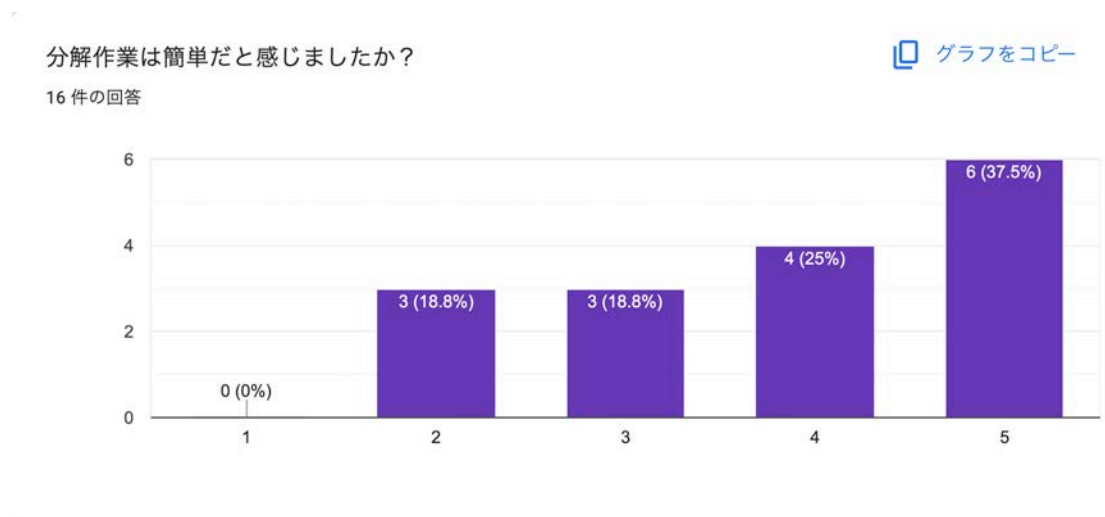


図 4.4 「分解作業の容易さ」についての回答分布

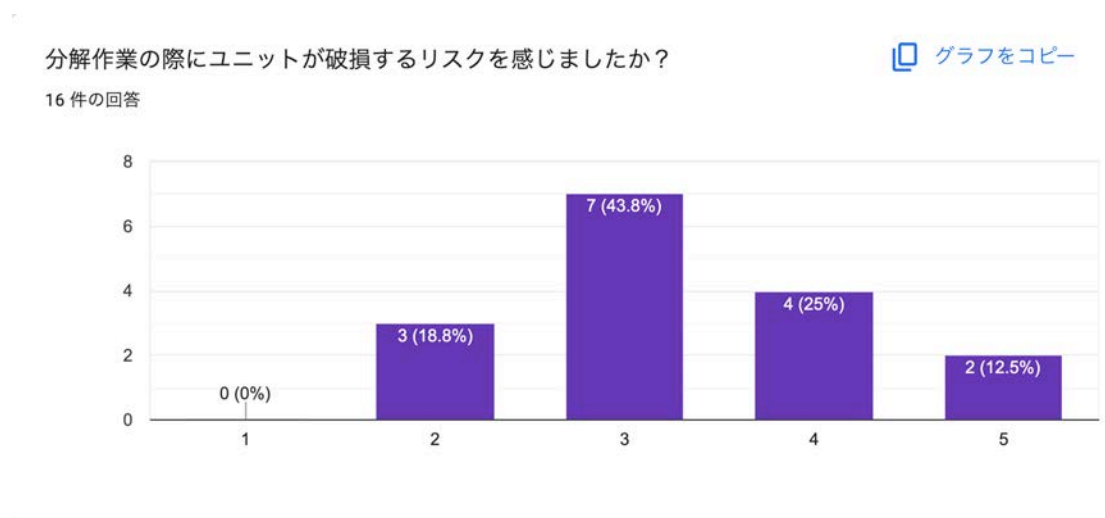


図 4.5 「分解作業中の破損リスク」についての回答分布

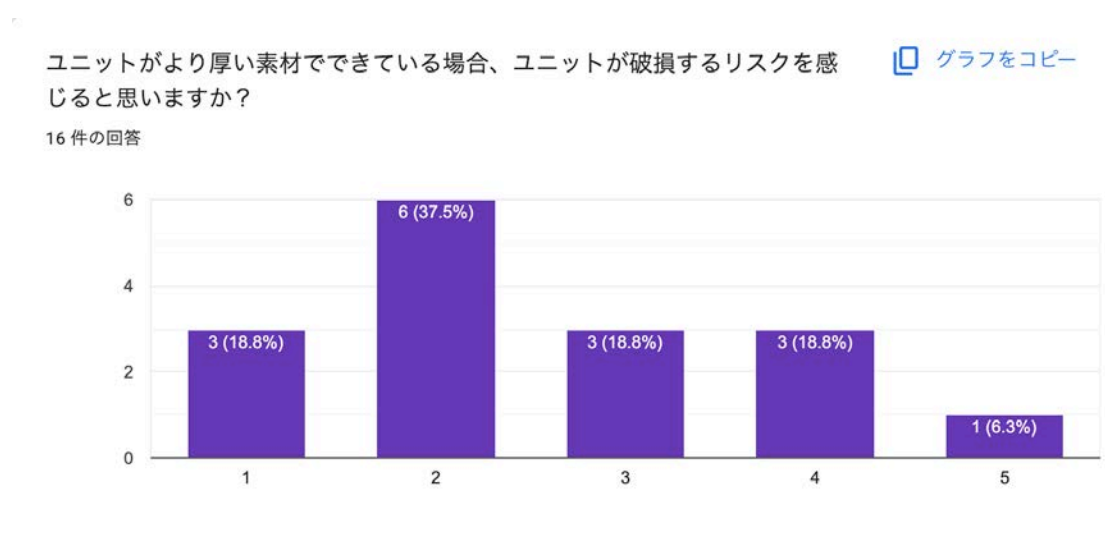


図 4.6 「分解作業中の破損リスク（厚い芯材を使用した場合）」についての回答分布

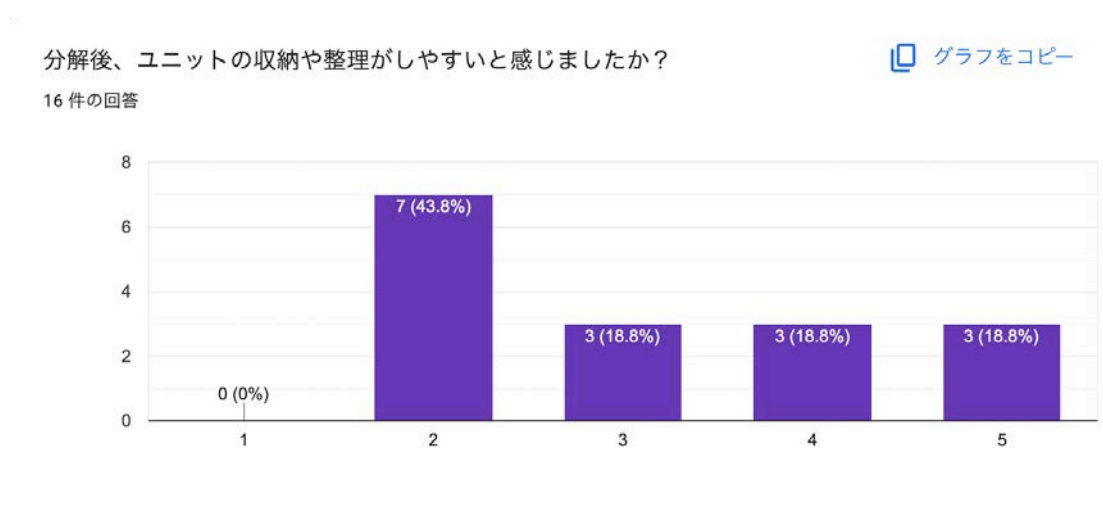


図 4.7 「分解後の収納・整理の利便性」についての回答分布

考察

表 4.1 は、柔軟性に関するアンケート結果を基に、各項目の達成度をまとめたものである。項目 1,2,3,5 に関しては、柔軟性がある程度、または十分に認められたと判断することができる。一方で、項目 4,6 の観点からは柔軟性が十分に認められたとは言えなかった。以下に、アンケート後に行った個別インタビューを参考にしながら、柔軟性が認められた項目と認められなかった項目に分けて、この結果になった理由を分析する。

表 4.1 柔軟性に関する評価結果

項目	達成度	肯定的評価の割合
項目 1（多様なサイズ・形状への汎用性）	一部達成	56%（9 人）
項目 2（工具なしでの組み立ての実現性）	完全達成	100%（16 人）
項目 3（分解作業の容易さ）	一部達成	63%（10 人）
項目 4（薄い芯材の場合の分解作業中の破損リスク）	未達成	19%（3 人）
項目 5（厚い芯材の場合の分解作業中の破損リスク）	一部達成	56%（9 人）
項目 6（分解後の収納・整理の利便性）	未達成	37%（6 人）

- 十分に柔軟性が認められた項目

まず、十分に柔軟性が認められた項目 2 については、「遊び性がある楽しい」「仕組みは素晴らしい。作品によっては試用する価値有り」という意見が寄せられた。工具を使用せず、自身の手で自由に好きなように組み立てられる点がアーティストの方々に高く評価された。

- ある程度柔軟性が認められた項目

次に、ある程度柔軟性が認められた項目 1,3,5 について分析する。

項目 1（多様なサイズ・形状への汎用性）に関しては、「形が面白いし、多様な作品に対して柔軟性が期待できそう」「組み合わせの幅が広がった」という肯定的な意見があった。特に、ユニットの組み方次第で平面以外の形状も作れる可能性が評価された。しかし、大きなサイズの梱包箱を作る場合、底面や天井部分の中央付近の強度に疑問の声があった。「中央に支柱がないため、重力に負けてしなってしまう、梱包箱の天井が中の作品に触れてしまうのではないか」という懸念が寄せられた。この問題に対しては、作品表面を保護シートで覆う工夫が必要との意見もあった。

項目 3（分解作業の容易さ）に関しては、「仕組みは素晴らしい」との評価があったものの、「スリットの均一さが欠けている」という試作品の仕上がりに対する指摘や、「流れ作業として使用する場合、手数が多し」という懸念が挙げられた。これにより、分解作業が効率的ではないと感じられたようだ。

項目 5（厚い芯材の場合の分解作業中の破損リスク）については、「耐久性は改善しそう」という肯定的な評価がある一方で、「モデルとして 3D プリントや図面を使うべき」や「厚い素材だとクッション性が低下し、緩衝材としての機能を十分に果たせないのでは」という意見が寄せられた。

- 柔軟性が認められなかった項目

最後に、柔軟性が認められなかった項目 4,6 について分析する。

項目 4（薄い芯材の場合の分解作業中の破損リスク）では、「剛性や保護性

が十分ではない」という意見が目立った。特に、薄い素材で構成されたモジュールは、分解作業中に破損しやすいという懸念が挙げられた。

項目6（分解後の収納・整理の利便性）については、項目3（分解作業の容易さ）とも関連しており、「分解作業が煩雑で手数が多い」という指摘が多かった。また、「ユニットを重ねて収納した場合、かえってかさばるのではないか」という懸念も示された。

- インタビューから得られた追加の知見

柔軟性の評価に関するインタビューでは、事前に設定した質問項目以外にも、モジュール式梱包箱に関するさまざまな意見が寄せられた。これらの意見は、意匠性や機能の新たな可能性を示唆するものであり、今後の改良や活用方法を検討する上で貴重な示唆を与えている。

まず、意匠性に関する評価では、モジュール式梱包箱の外観が幾何学的でありながら、数寄屋造りのような趣を感じさせるという意見があった。特に、可愛さ・美しさ・面白さが共存しており、視覚的にも楽しさを感じるという点が評価された。これにより、単なる梱包材としての機能を超えて、新しい価値を持つ可能性が示唆された。

次に、緩衝材としての可能性についても意見が寄せられた。特に、立体作品や海外輸送時の緩衝材としての活用が有効ではないかという指摘があった。海外輸送では、作品が通常クレートに収められるため、その内部で作品の動きを抑える緩衝材としての役割を果たせる可能性がある。これにより、梱包箱の用途を拡張し、輸送時の保護材としての機能性を向上させる余地があると考えられる。

さらに、モジュール式梱包箱の円筒状の空洞に関しては、肯定的・否定的な両面の意見があった。肯定的な意見としては、空洞が空気の通り道となり、カビの発生を防ぐ効果が期待できるため、長期間の保存や輸送に適している可能性があるという点が挙げられた。一方で、否定的な意見としては、外部から針状の物体が当たった場合、空洞を通じて作品に直接影響を与えるリスクがあるという懸念が示された。この点については、追加の保護層を導入す

るなどの対策が必要であると考えられる。

これらの意見を総合すると、モジュール式梱包箱の意匠の魅力、緩衝材としての新たな可能性、円筒構造のメリットと課題という3つの観点から、さらなる改良の方向性が示されたといえる。今後は、デザインの特性を活かしつつ、緩衝材としての機能を強化し、外部衝撃への対策を講じることで、より実用性の高い梱包システムの開発を目指すことが求められる。

4.2.4 結論

本研究のリサーチクエスションである「モジュラーデザインを採用することで、アート作品の多様なサイズや形状に対応し、組み立てや分解が容易で、再利用可能な柔軟性の高い梱包箱を設計できるか」という問いに対する回答としては、「多様なサイズ・形状への対応や容易な組み立て・分解作業の観点からは柔軟性の高い梱包箱の設計が可能だが、再利用性や収納性の観点では課題が残る」となるだろう。

アンケート結果から、6項目中4項目（項目1,2,3,5）において「一部達成」または「完全達成」の評価が得られており、特に「工具なしでの組み立ての実現性（項目2）」は100%の被験者が肯定的評価を示している点が大きな強みである。一方で、「分解作業中の破損リスク（項目4）」や「分解後の収納・整理の利便性（項目6）」に関しては「未達成」と評価され、それぞれの肯定的評価が19%および37%に留まっていることから、破損リスクの軽減や収納性の向上が課題として浮き彫りになった。

これらの結果を踏まえると、柔軟性全体には一定の肯定的評価が得られているものの、安全性や実用性の観点からさらなる改善が必要であると言える。特に、破損リスクや収納性に関連する未達成項目の改善を進めることで、柔軟性の向上が期待される。

4.3. 実用性の評価

4.3.1 はじめに

評価の前提となる実用性の定義を説明する。本研究において、梱包箱の実用性とは輸送時の衝撃に対する保護性能を指し、梱包箱としての基本的な機能である。最終デザインの実用性を評価するため、落下テストと輸送テストを実施した。最終デザインが輸送中の破損リスクを軽減し、内容物を安全に保護できるかを検証することが目的である。

4.3.2 評価方法

落下テスト

落下テストの条件は以下の通りである。

- 高さ：3段階（50cm/1m/2m）から落下
- アングル：2種類の角度（円筒の曲面部分が下/断面部分が下）での落下
- 内容物：ガラス製の小皿1枚（104g）
- 梱包方法：以下の3パターンを比較した。
 1. パターン1：エアークッション（2枚）を使用して梱包
 2. パターン2：エアークッション（2枚）＋ストレッチラップ＋最終デザインを使用して梱包
 3. パターン3：最終デザインのみを使用して梱包
- 目的：輸送中などにおける落下時の衝撃に対する梱包箱の保護機能を確認するため



図 4.8 パターン1 (エアークッションのみ)



図 4.9 パターン2 (エアークッション+ストレッチラップ+最終デザイン)



図 4.10 パターン 3（最終デザインのみ）

輸送テスト

輸送テストの条件は以下の通りである。

- ルート：東京都目黒区から神奈川県横浜市の日吉キャンパスまで
- 輸送手段：車両
- 目的：輸送中における振動や衝撃が内容物や梱包箱に与える影響を確認するため

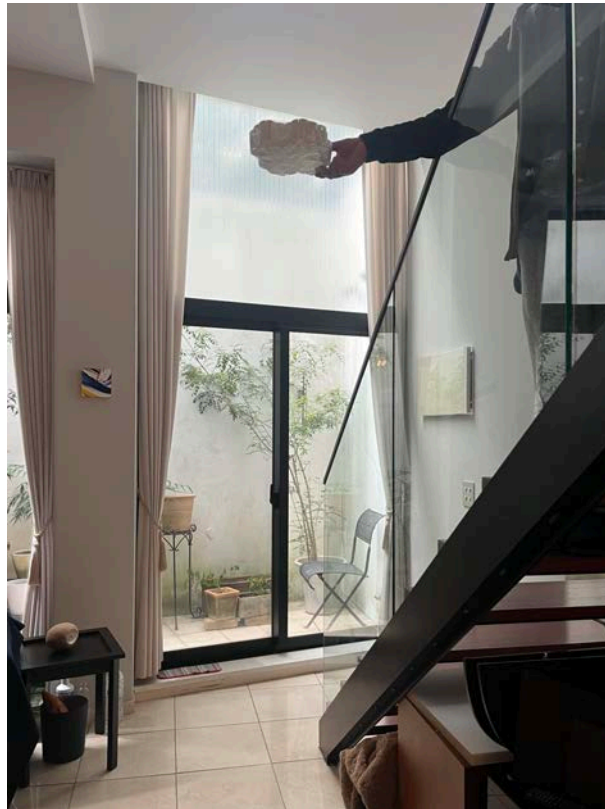


図 4.11 落下テスト（パターン 2/2m） - 落下前



図 4.12 落下テスト（パターン 2/2m） - 落下直後



図 4.13 落下テスト（パターン 3/50cm） - 断面から落下した瞬間



図 4.14 落下テスト（パターン 3/50cm） - 曲面から落下した瞬間



図 4.15 輸送テストのための梱包（エアークッション＋ストレッチラップ＋最終デザイン）

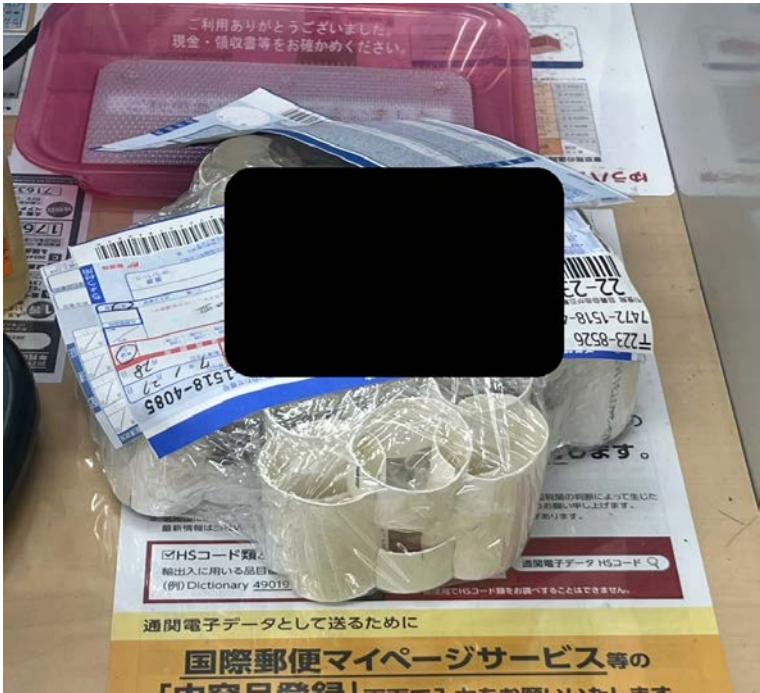


図 4.16 輸送テスト - 郵便局にて

4.3.3 落下テストの結果と考察

パターン 1 の結果と考察

表 4.2 は、パターン 1 の落下テストの結果を示している。「◎」は中身のお皿が割れなかったことを、「×」は割れたことを示している（他の図も同様）。50cm および 1m の高さから落とした場合は、お皿を割れることなく保護できたが、2m の高さから落とした場合には割れてしまった。

表 4.2 落下テストの結果 - パターン 1

落下点の高さ	内容物（お皿）を床と平行にして落下
50cm	◎
1m	◎
2m	×



図 4.17 パターン1 - 落下後の中身の様子

パターン2の結果と考察

表 4.3 の結果から、50cm、1m、2m のいずれの高さから落とした場合でも、お皿が割れることなく保護されることがわかった。「◎」がすべての条件で示されており、この梱包方法は落下テストにおいて高い保護性能を有することが確認された。パターン2は、50cm から2m の高さまでの落下に対して、中身のお皿を確実に保護できる高い保護性を備えた梱包方法であると言える。

表 4.3 落下テストの結果 - パターン2

落下点の高さ	曲面を下にして落下	断面を下にして落下
50cm	◎	◎
1m	◎	◎
2m	◎	◎



図 4.18 パターン 2 - 落下後の中身の様子

パターン 3 の結果と考察

表 4.4 の結果から、50cm および 1m の高さから落とした場合は中身のお皿を保護することができた。一方で、2m の高さから落とした場合には「×」が示されており、お皿が割れてしまったことが確認された。パターン 3 は、50cm および 1m の高さでは保護性能が十分であるが、2m の高さからの落下には耐えられないことが明らかになった。

具体的には、円筒ユニットの断面側で落ちた場合にはお皿が割れることはなかったが、曲面側で落ちた場合には割れてしまった。この結果から、以下の 2 つの理由が考えられる。

1 つ目の理由は、曲面部分の構造特性に起因する。曲面は柔らかくクッションのように変形する性質を持つため、大きな衝撃が加わると、そのエネルギーが吸収しきれずに中身まで伝わってしまう可能性が高い。特に、今回の落下試験では 2m の高さという条件下で曲面部分に強い衝撃が加わり、その影響が顕著に表れたと考えられる。

2 つ目の理由は、梱包箱の側面部分のユニット構造の不足である。今回の梱包デザインでは、各角の両脇に 2 個ずつしか側面ユニットが配置されておらず、ユニットが配置されていない部分が存在していた。この構造的な隙間により、衝撃

を分散する能力が限定され、特定の部分に衝撃が集中した結果、中身のお皿が割れてしまったと考えられる。

表 4.4 落下テストの結果 - パターン 3

落下点の高さ	曲面を下にして落下	断面を下にして落下
50cm	◎	◎
1m	◎	◎
2m	×	◎

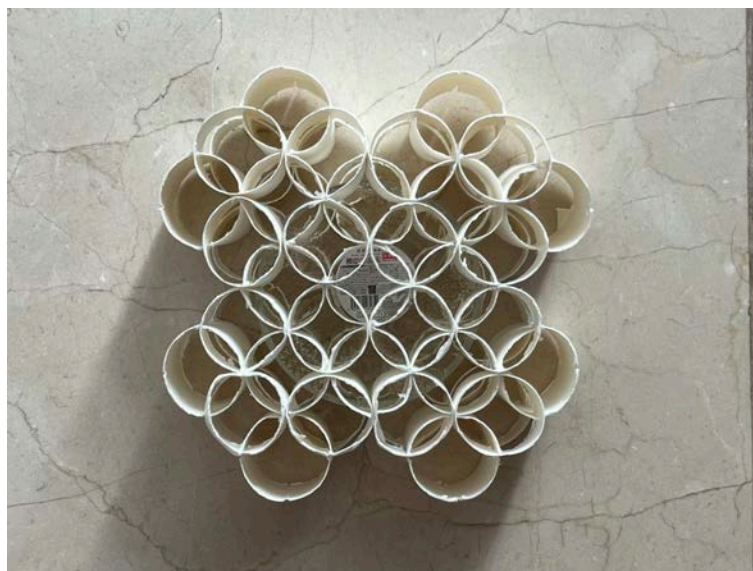


図 4.19 パターン 3（断面から落下） - 落下後の梱包箱の様子



図 4.20 パターン3（曲面から落下） - 落下後の中身の様子

4.3.4 輸送テストの結果と考察

輸送テストは、郵便局のゆうパック¹を利用し、東京都目黒区から神奈川県横浜市の日吉キャンパスまでのルートで行った。本テストの目的は、輸送中に発生する振動や衝撃が内容物や梱包箱に与える影響を確認することである。また、念のため「割れ物」項目にチェックを入れて送付した。

テストの結果、梱包箱は無事に目的地に到着し、中身のお皿は割れたり傷ついたりすることはなかった。また、梱包箱自体にも破損や変形などの問題は見られず、輸送中の振動や衝撃に対する十分な耐久性と保護性能を有していることが確認された。

この結果には、以下の要因が寄与したと考えられる。第一に、梱包時にエアークッション（2枚）とストレッチラップ、および最終デザインの梱包箱を使用したことにより、三重の梱包構造が衝撃を効果的に吸収し、輸送中の振動や外部の力から中身を保護した点が挙げられる。第二に、輸送時に実際のアート作品と同様、「壊れ物」の印を明示したことで、輸送業者が慎重に取り扱った可能性が高い。こ

1 https://www.post.japanpost.jp/service/you_pack/

これらの配慮が、輸送中の安全性を確保する要因として機能したと推測される。



図 4.21 輸送テスト - 到着後の梱包開封の様子

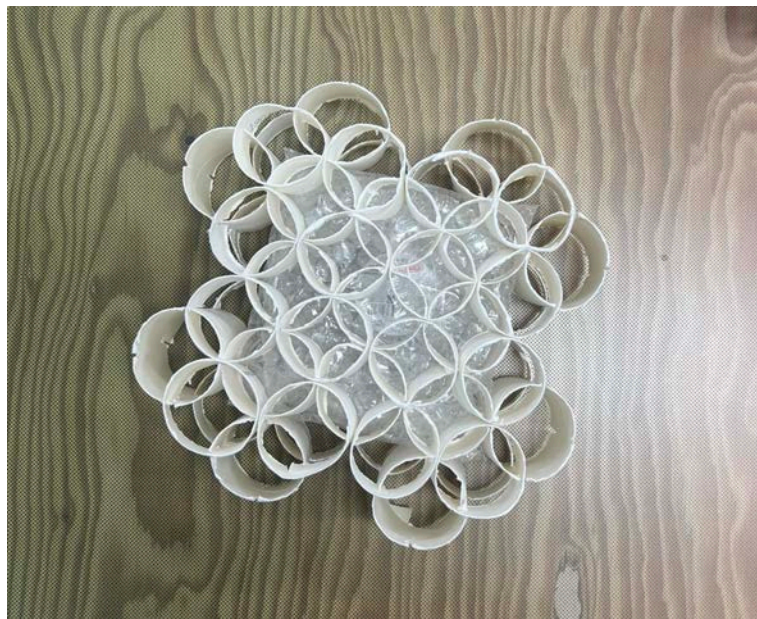


図 4.22 輸送テスト - 到着後の梱包箱の様子



図 4.23 輸送テスト - 到着後の中身の様子

4.3.5 結論

実用性の検証として実施した落下テストと輸送テストの結果、モジュール式梱包箱は特定の条件下で十分な実用性を発揮することが確認された。

落下テストでは、最終デザインの梱包箱単体でも一定の保護性能を有していたが、2mの高さからの落下時には衝撃吸収性が不十分な場合があることが明らかになった。特に、曲面部分を下にした状態では衝撃が局所的に集中しやすく、内容物の破損リスクが高まる可能性が示唆された。一方で、エアークッションやストレッチラップと併用することで、全ての条件下で安定した保護性能を示した。

輸送テストでは、梱包箱が目的地まで無事に到達し、内容物および梱包箱自体に破損が生じなかったことから、輸送中の振動や衝撃に対する十分な耐久性を有していることが確認された。この結果は、エアークッション、ストレッチラップ、最終デザインの梱包箱による三重の梱包構造が衝撃を効果的に吸収したことなどが要因と考えられる。

以上の結果を踏まえると、最終デザインのモジュール式梱包箱は輸送中の耐久性と保護性能を備えているものの、高所からの落下時の衝撃吸収性には依然として課題が残ることが明らかになった。

4.4. 持続可能性の評価

4.4.1 はじめに

持続可能性の評価では、既存のアート作品梱包箱と、新たに設計したモジュール式梱包箱の環境負荷を比較した。持続可能性の評価を行うにあたり、それぞれの梱包箱の仕様と使用条件を以下の通りに仮定した。

既存の梱包箱

- 重量：43g
- 材料：ダンボール（バージンパルプ使用、二重壁構造）
- 使用回数：1回の使用につき1回の輸送が可能（再利用不可）

モジュール式梱包箱（最終デザイン）

- 重量：58g
- 材料：再生紙（脱墨処理なし）
- 使用回数：1回の使用につき5回の輸送が可能（最大5回再利用可能）

また、本研究における輸送ルートとして、慶應義塾大学三田キャンパスから日吉キャンパスまでの移動を想定する。

4.4.2 評価方法

本研究では、既存のアート作品梱包箱と最終デザインのモジュール式梱包箱を比較し、持続可能性の観点から評価を行った。評価の目的は、モジュール式梱包が従来の梱包と比べて環境負荷を低減できるかを検証することである。評価範囲は製造、使用、輸送、廃棄の各段階とし、環境負荷の評価にはLCAの手法を用いる。

LCA は、製品の資源採取から原材料調達、製造、加工、組立、流通、使用、廃棄に至るまでの全過程（ライフサイクル）における環境負荷を科学的・定量的・客観的に評価する手法である [25]。本研究では、LCA の実施にあたり Sustainable Minds²を使用し、各ライフサイクル段階における環境負荷の算出を行う。

4.4.3 結果と考察

LCA ツールを用いた評価の結果、モジュール式デザインの梱包箱は、既存の梱包箱と比較して持続可能性の観点で大幅に改善されることが示された。図 4.24 に示すように、具体的には、約 92%のパフォーマンス向上が達成された。

図 4.25 を参照すると、以下の要因が環境負荷の増減に寄与したと考えられる。

環境負荷カテゴリー別の考察

1. 地球温暖化（Global warming）における環境負担の増加

モジュール式梱包箱の地球温暖化（Global warming）における環境負担は、従来の梱包箱と比較して、10.76%から 21.85%に増加した。モジュール式梱包箱では、リサイクル紙を主材料として使用しているが、リサイクルプロセスや製造時におけるエネルギー消費が比較的高いため、温室効果ガスの排出量が増加していると考えられる。また、輸送時に繰り返し使用する設計のため、製造段階ではコスト削減が可能であるものの、長期的な運用におけるエネルギー効率の課題が影響している可能性がある。

2. 生態毒性（Ecotoxicity）における環境負担の増加

モジュール式梱包箱の生態毒性（Ecotoxicity）における環境負担は、従来の梱包箱と比較して、7.51%から 12.53%に増加した。リサイクル紙の生産過程で使用される化学物質が水質や土壌に影響を与える可能性がある。特に、脱墨処理を施さないリサイクル紙でも、パルプ化や漂白工程における薬品使用が環境毒性を引き起こす要因となり得る。

2 <https://www.sustainableminds.com/>

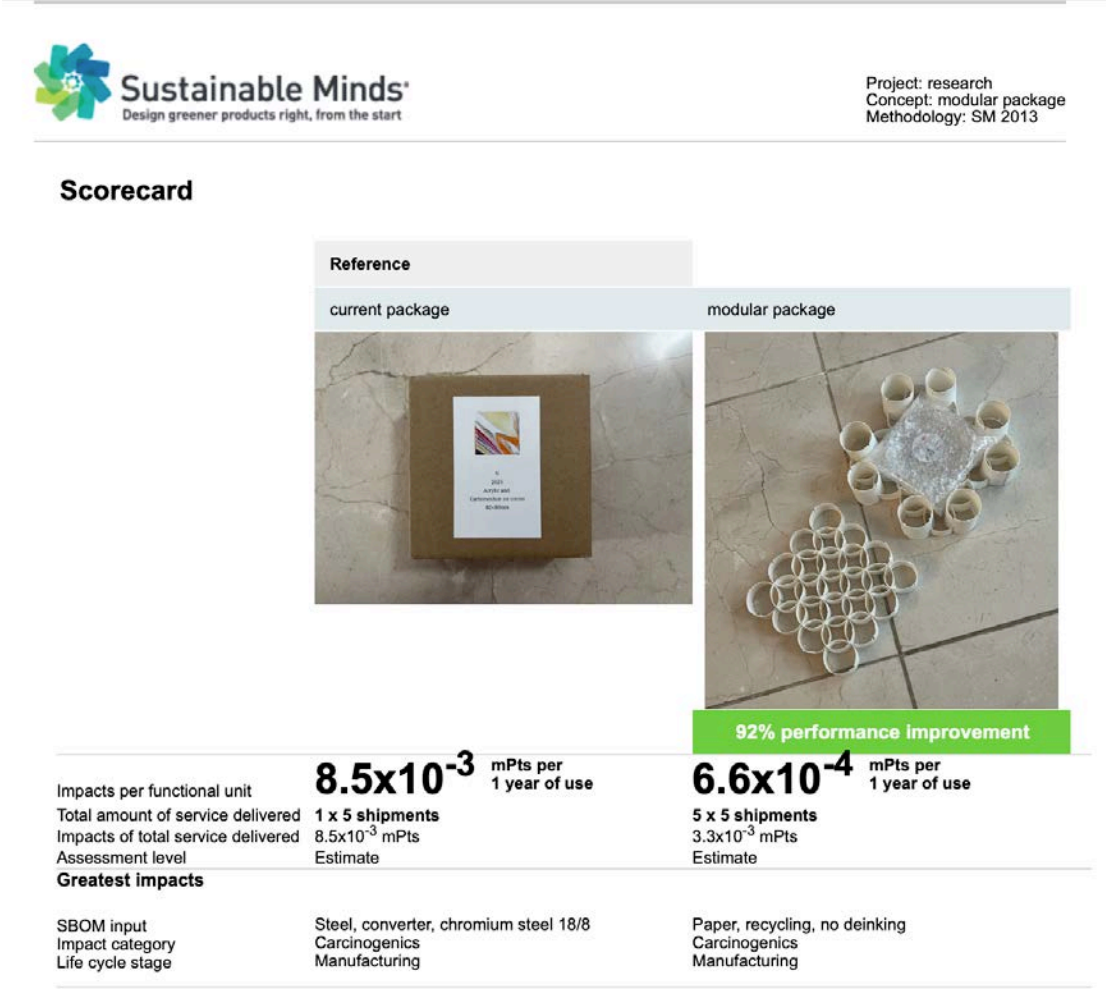
3. 発がん性（Carcinogenics）における環境負担の減少

モジュール式梱包箱の発がん性（Carcinogenics）における環境負担は、従来の梱包箱と比較して、59.18%から24.36%に大幅に減少した。既存の梱包箱では、ホチキス芯に使用される鋼（クロム鋼）が発がん性物質の主な原因と考えられる。一方、モジュール式梱包箱ではリサイクル紙を使用することで、発がん性物質の排出が大幅に削減されている。

4.4.4 結論

以上のことから、「モジュール式梱包箱の採用は、従来の梱包箱と比較して、端材や廃棄物の発生を削減し、ライフサイクル全体における環境負荷（二酸化炭素排出量、エネルギー消費量、水消費量など）を低減できるか？」というリサーチクエスチョンに対して、その妥当性が確認された。

評価の結果、地球温暖化や生態毒性の増加といった課題がある一方で、発がん性の大幅な低減が示されるなど、モジュール式梱包箱の環境負荷低減への貢献が明らかとなった。今後は、リサイクルプロセスや製造工程の最適化を進めることで、さらなる環境負荷の削減が期待される。



Total impacts by impact category

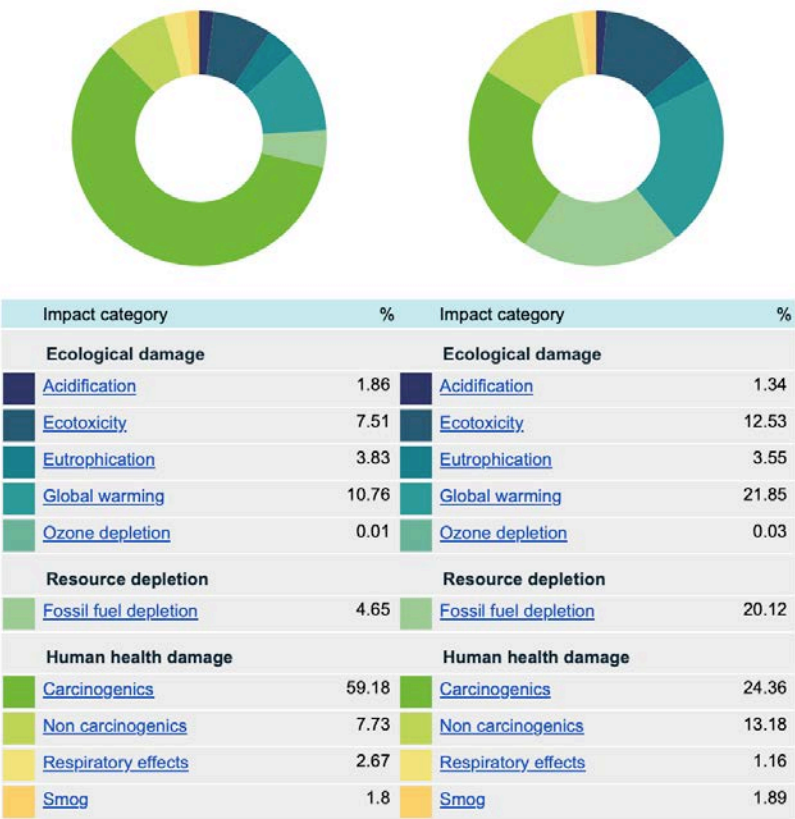


図 4.25 環境負荷カテゴリー別の影響比較

第 5 章

結

論

5.1. 本研究の総括

本研究は、アート作品の梱包箱における柔軟性の向上、実用性の確保、環境負担の軽減という3つの目標を掲げ、モジュール式梱包箱の提案と評価を行った。これらの目標を達成するために、以下のリサーチクエスションと仮説を設定し、設計および検証を通じてその効果を明らかにした。

5.1.1 リサーチクエスション

1. モジュール式梱包箱は、アート作品の多様なサイズや形状に対応し、組み立てや分解が容易で、再利用可能な柔軟性の高い梱包箱であるか？
2. モジュール式梱包箱は、従来の梱包箱と比較して、端材や廃棄物の発生を削減し、ライフサイクル全体における環境負荷（二酸化炭素排出量、エネルギー消費量、水消費量など）を低減できるか？

5.1.2 仮説

リサーチクエスション1に関する仮説：

- 1 モジュール式梱包箱は、アート作品のサイズや形状の違いに柔軟に対応できる。
- 2 モジュール式梱包箱は、従来の特注梱包箱と比較して、工具なしでの組み立てや分解が容易である。

- 3 モジュール式梱包箱は、従来の梱包方法と比較して再利用が容易であり、より長期的に使用可能である。

リサーチクエスチョン2に関する仮説：

- 1 モジュール式梱包箱の製造過程で発生する端材の量は、従来の梱包箱よりも少ない。
- 2 モジュール式梱包箱の使用後に廃棄される材料の量は、従来の梱包箱よりも少ない。
- 3 モジュール式梱包箱のライフサイクル全体における二酸化炭素排出量は、従来の梱包箱よりも少ない。
- 4 モジュール式梱包箱の再利用率が向上することで、新規製造に伴うエネルギー消費量が低減する。

5.1.3 柔軟性の検証

本研究で定義する柔軟性とは、アート作品の梱包箱に求められる以下の3つの要素を指す。

1. 多様な形状およびサイズのアート作品に対応可能な汎用性

モジュール式構造により、ユニットの組み合わせで形状やサイズを柔軟に変更でき、多様なアート作品に対応できることを目指す。

2. 部分的な破損や汚損が発生した場合の交換性

モジュール単位で分解・交換が可能な設計とすることで、全体を廃棄せずに再利用を促進する。

3. 効率的な収納および最小限の保管スペース

使用しない際にはユニットを分解してコンパクトに収納できるため、保管時のスペースを削減できること。

これらの柔軟性を評価するため、アート作品の梱包経験を持つギャラリースタッフやアーティストを対象に、最終デザインの組み立て・分解テストとアンケート調査、そしてインタビューを実施した。

結果

柔軟性の評価では、以下のような結果が得られた。

- 十分に柔軟性が認められた項目

項目2（工具なしでの組み立ての実現性）において、被験者の100%が「完全達成」と評価。特に簡単な組み立て作業が高く評価され、ユーザーにとっての操作性が優れていることが確認された。

- ある程度柔軟性が認められた項目

項目1（多様なサイズ・形状への汎用性）と項目3（分解作業の容易さ）については、それぞれ56%および63%が「一部達成」と評価。形状への適応力や分解効率が期待された一方、特定の組み立てパターンや操作の煩雑さに対する改善の指摘があった。

- 柔軟性が認められなかった項目

項目4（薄い芯材の場合の分解作業中の破損リスク）では、19%の評価にとどまり、芯材の強度不足が課題として浮き彫りになった。また、項目6（分解後の収納・整理の利便性）も37%の評価にとどまり、収納効率や保管中のモジュールの安定性に改善の余地があると指摘された。

結論

本研究のリサーチクエスションである「モジュール式梱包箱は、アート作品の多様なサイズや形状に対応し、組み立てや分解が容易で、再利用可能な柔軟性の高い梱包箱であるか？」という問いに対し、本研究の結果は「多様なサイズ・形

状への対応や組み立て・分解作業の容易さの点では高い柔軟性を有するが、再利用性や収納性に関しては課題が残る」という回答を示した。

アンケート結果では、6項目中4項目（項目1,2,3,5）において「一部達成」または「完全達成」の評価が得られ、特に「工具なしでの組み立ての実現性（項目2）」に関しては100%の被験者が肯定的な評価を示した。一方で、「分解作業中の破損リスク（項目4）」および「分解後の収納・整理の利便性（項目6）」については肯定的評価が19%および37%にとどまり、これらの課題が浮き彫りになった。

これらの結果から、柔軟性全体には一定の肯定的評価が得られたものの、ユニットの耐久性や利便性の向上のためにはさらなる改良が必要であると考えられる。特に、破損リスクの軽減や収納性の向上に向けた設計の改善を進めることで、モジュール式梱包箱の柔軟性をさらに高めることが期待される。

5.1.4 実用性の検証

実用性の検証として、輸送中の落下などによる衝撃や振動に対する梱包箱の保護機能を確認するため、落下テストと輸送テストを実施した。

落下テスト

落下テストの条件は以下の通りである。

- 高さ：3段階（50cm/1m/2m）から落下
- アングル：2種類の角度（円筒の曲面部分が下/断面部分が下）での落下
- 内容物：ガラス製の小皿1枚（104g）
- 梱包方法：以下の3パターンを比較した。
 1. パターン1：エアークッション（2枚）を使用して梱包
 2. パターン2：エアークッション（2枚）+ストレッチラップ+最終デザインを使用して梱包
 3. パターン3：最終デザインのみを使用して梱包

結果 落下テストの結果、以下の状況において内容物の保護に失敗した。

- パターン1（エアークッションのみ）の2mの高さからの落下させた場合
- パターン3（最終デザインのみ）の2mの高さから曲面を下にして落下させた場合

これらのケースでは、梱包材の衝撃吸収性能が不十分であり、小皿が割れる結果となった。一方で、他のすべての条件下では内容物が無事に保護され、特にパターン2（エアークッション+ストレッチラップ+最終デザイン）は全ての条件で安定した保護性能を示した。

考察 今回の落下テストの結果から、最終デザイン単体では一定の保護機能を持つが、2mの高さからの落下時には衝撃吸収性が不足する場合があることが確認された。特に、曲面部分を下にした状態では衝撃が局所的に集中しやすく、保護性能が低下する可能性が示唆された。一方で、エアークッションやストレッチラップと併用することで、高い保護性能を発揮できることが確認された。

運送テスト

輸送テストの条件は以下の通りである。

- ルート：東京都目黒区から神奈川県横浜市の日吉キャンパスまで
- 輸送手段：車両
- 目的：輸送中における振動や衝撃が内容物や梱包箱に与える影響を確認するため

結果 テストの結果、梱包箱は無事に目的地に到着し、中身のお皿は割れたり傷ついたりすることはなかった。また、梱包箱自体にも破損や変形などの問題は見られず、輸送中の振動や衝撃に対する十分な耐久性と保護性能を有していることが確認された。

考察 この結果には、以下の要因が寄与したと考えられる。第一に、梱包時にエアークッション（2枚）とストレッチラップ、および最終デザインの梱包箱を使用したことにより、三重の梱包構造が衝撃を効果的に吸収し、輸送中の振動や外部の力から中身を保護した点が挙げられる。

第二に、輸送時に実際のアート作品と同様に「割れ物」の項目にチェックを入れたことで、輸送業者が慎重に取り扱った可能性が高い。

結論

実用性の検証として落下テストと輸送テストの結果、モジュール式梱包箱の実用性は特定の条件下で十分な実用性を発揮することが確認された。

落下テストでは、最終デザインの梱包箱単体でも一定の保護性能を有していたが、2mの高さからの落下時には衝撃吸収性が不十分である場合が確認された。特に、曲面部分を下にした状態では衝撃が局所的に集中しやすく、内容物の破損リスクが高まることが示唆された。一方で、エアークッションやストレッチラップと併用することで、すべての条件下で安定した保護性能を示した。

輸送テストでは、梱包箱が目的地まで無事に到達し、内容物および梱包箱自体に破損が生じなかったことから、輸送中の振動や衝撃に対する十分な耐久性を有していることが確認された。この結果は、エアークッション、ストレッチラップ、最終デザインの梱包箱による三重の梱包構造が効果的に衝撃を吸収したことなどが要因として考えられる。

以上の結果を踏まえると、最終デザインのモジュール式梱包箱は輸送中の耐久性と保護性能を備えているものの、高所からの落下時の衝撃吸収性には課題が残ることが明らかになった。

5.1.5 持続可能性の検証

持続可能性を検証するため、既存のアート作品梱包箱と、新たに設計したモジュール式梱包箱の環境負荷を比較した。持続可能性の評価を行うにあたり、それぞれの梱包箱の仕様と使用条件を以下の通り設定する。

既存の梱包箱

- 重量：43g
- 材料：ダンボール（バージンパルプ使用、二重壁構造）
- 使用回数：1回の使用につき5回の輸送が可能（1×5回の輸送）
- 輸送条件：慶應義塾大学三田キャンパスから日吉キャンパスまで

モジュール式梱包箱（最終デザイン）

- 重量：58g
- 材料：再生紙（脱墨処理なし）
- 使用回数：1回の使用につき5回の輸送が可能、最大5回再利用可能（5×5回の輸送）
- 輸送ルート：慶應義塾大学三田キャンパスから日吉キャンパスまで

結果と考察

LCA ツールを用いた評価の結果、モジュール式デザインの梱包箱は、既存の梱包箱と比較して持続可能性の観点から大幅に改善されていることが示された。具体的には、約92%のパフォーマンス向上が達成され、以下の要因が環境負荷低減に寄与したと考えられる。

まず、モジュール式梱包箱の再利用性が、環境負荷低減の主要な要因として挙げられる。最終デザインでは最大5回の再利用が可能であり、同じ輸送回数を達成するために必要な梱包箱の製造回数を削減できる。その結果、製造段階における資源使用量やエネルギー消費量が抑えられ、環境負荷が軽減された。

次に、環境負荷の低い材料の使用も大きな影響を与えた。モジュール式梱包箱にはリサイクル紙（脱墨処理なし）が採用されており、従来のバージンパルプを使用したダンボールと比較して、原材料調達・製造時の環境負荷が低減した。加

えて、リサイクル紙を用いたシンプルな素材構成により、廃棄後のリサイクルプロセスが簡素化される可能性がある。

さらに、総輸送回数の削減も環境負荷低減に寄与している。モジュール式梱包箱は繰り返し使用できるため、作品ごとに新たな材料や梱包箱を輸送する必要がなく、従来の梱包箱と比較して輸送回数を削減できる。その結果、輸送に伴う資源消費やエネルギー使用の抑制が期待される。

結論

以上のように、LCA ツールを用いた持続可能性に関する検証では、モジュール式梱包箱は、従来の梱包方法と比較して、約 92% 持続可能性の向上に寄与することが明らかとなった。

5.2. 今後の展望

本研究の柔軟性に関する評価を踏まえ、モジュール式梱包箱の柔軟性をさらに向上させるために、以下の 4 つの視点から今後の展開を考える。

素材の見直し

モジュール式梱包箱の耐久性と持続可能性を両立するため、クッション性がありながら長期間の再利用が可能な素材の選定を進める。具体的には、現在使用しているリサイクル紙製の芯材と、スリット部分などが摩耗しにくく半永久的に再利用可能な素材を比較し、それぞれの実用性と持続可能性の観点から最適な組み合わせを検討する。

組み立て・分解の効率化

アンケート結果でも指摘された組み立て・分解の手間の多さを解決するため、以下のような改善策を試みる。

- 組み立て・分解のガイド作成：視覚的に分かりやすい説明書や動画マニュアルを用意し、ユーザーが直感的に扱えるようにする。
- ユニットサイズの拡大：各ユニットのサイズを大きくすることで、組み立て・分解に必要なユニット数を減らし、作業負担を軽減する。
- 接合方法の工夫：スリット構造の改良や、新たな結合機構の導入を検討し、作業の簡略化を図る。

収納方法の最適化

分解後の収納に関しては、スペースを取らず、効率的に収納できる方法を探る必要がある。

- スタッキング（積み重ね）可能な設計：ユニットを重ねやすい形状にすることで、収納時の体積を最小限に抑える。
- 折りたたみ機能の導入：ユニットが折りたためる設計にすることで、輸送時や保管時のスペースを節約する。
- 専用収納ケースの開発：効率的に収納・運搬できるケースを開発し、使用者の利便性を向上させる。

適用範囲の拡大

本研究では、平面の小型作品および国内輸送を対象としていたが、今後は以下のように対象範囲を広げることが期待される。

- 立体作品への適用：彫刻やインスタレーション作品など、形状が多様なアート作品にも対応できるよう、設計の拡張を行う。
- 長距離・国際輸送への適用：異なる輸送環境（航空輸送・海上輸送）における梱包方法を検証し、その耐久性を評価することで、より多様な輸送条件下での実用化を目指す。

モジュール式梱包箱のさらなる改善に向けて、素材の見直し、組み立て・分解の効率化、収納方法の最適化、適用範囲の拡大という4つの視点から検討を進めることが重要である。本研究が、実用性と持続可能性を兼ね備えた、より柔軟で汎用性の高い梱包システムの実現に向けた第一歩となることを期待する。

謝 辞

本研究の指導教員であり、幅広い知見からの的確な指導と暖かい励ましやご指摘をしていただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の Matthew Waldman 教授に心から感謝いたします。

研究の方向性について様々な助言や指導をいただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の稲蔭正彦教授に心から感謝いたします。

研究指導や論文執筆など数多くの助言を賜りました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の大川恵子教授に心から感謝いたします。

本研究の進行にあたり、多大なご協力と貴重なご支援を賜りましたトヨコン株式会社の皆様に深く感謝申し上げます。研究内容に関する実務的なご助言や素材の提供において多大なご協力をいただきましたこと、心より感謝いたします。

また、本研究のために貴重なご意見をお寄せいただきましたギャラリーの皆様、心から感謝申し上げます。特にご協力いただいた、佐々木大河様、戸田沙也加様、藤崎了一様、EUKARYOTE 様、YOKOTA TOKYO 様（五十音順）には、多大なるご支援を賜りましたことを深く感謝いたします。現場ならではの視点からいただいた貴重なアドバイスと、アート業界で活躍される皆様の自由な発想が、本研究の質を高める大きな支えとなりました。

そして、これまで私を支えてくれた家族と友人に深く感謝いたします。家族には、研究を進める中で絶えず励ましや応援をいただき、心の支えとなってくれました。また、友人との楽しい時間は前向きな気持ちを持ち続ける助けとなり、多くの力をもらいました。

皆様のご支援とご助力のおかげで、本研究を完成させることができました。心より感謝申し上げます。

参 考 文 献

- [1] K. Arin, Alessandro De Iudicibus, Nagham Sayour, and Nicola Spagnolo. Environmental awareness and firm creation. *Journal of Economic Studies*, 2024. doi:10.1108/jes-07-2023-0360.
- [2] Xiaoyong Luo, Xutong Zheng, Chao Liao, Yang Xiao, Chao Deng, Siyu Liu, and Qi Chen. Research on the modular design method and application of prefabricated residential buildings. *Buildings*, 2024. doi:10.3390/buildings14093014.
- [3] J. Bonvoisin, Friedrich A. Halstenberg, Tom Buchert, and R. Stark. A systematic literature review on modular product design. *Journal of Engineering Design*, Vol. 27, pp. 488 – 514, 2016. doi:10.1080/09544828.2016.1166482.
- [4] P. Gu and S. Sosale. Product modularization for life cycle engineering. *Robotics and Computer-integrated Manufacturing*, Vol. 15, pp. 387–401, 1999. doi:10.1016/S0736-5845(99)00049-6.
- [5] クロネコマーケット. アートボックス. 最終アクセス日: 2024 年 12 月 3 日. URL: <https://x.gd/92SUG>.
- [6] 美術品・楽器・[高級家具物流.com](http://xn-h6qq3w8uo30e6ppip7b.com/). プレミアム梱包キット | 美術品・楽器・[高級家具物流.com](http://xn-h6qq3w8uo30e6ppip7b.com/). 最終アクセス日: 2024 年 12 月 3 日. URL: <https://art-logis.com/premium/>.

- [7] 画家ザシキコゾウ. アートボックス 組み立て記録. 最終アクセス日: 2025 年 1 月 12 日. URL: <https://note.com/orientarisu/n/nb7e9c10dfc2b>.
- [8] 高嶋美穂. 美術館におけるサスティナビリティの試み ―再利用可能なクレート（輸送箱）の作成. 最終アクセス日: 2024 年 1 月 30 日. URL: <https://ncar.artmuseums.go.jp/reports/collections/conservation/reports/post2024-1107.html>.
- [9] 国立アトリサーチセンター活動報告・研究紀要, 2024. アクセス日: 2024 年 1 月 30 日. URL: chrome-extension://efaidnbmnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://ncar.artmuseums.go.jp/en/upload/NCAR_Vol11.pdf.
- [10] IDEAS FOR GOOD. 捨てたなくなる梱包材。サムスンが考えた、インテリアになる段ボール. 最終アクセス日: 2025 年 1 月 12 日. URL: <https://ideasforgood.jp/2021/02/10/samsung-reuse-cardboard/>.
- [11] 岡本玄介. サムスンの梱包用ダンボール、猫の家やマガジンラックなどに再利用可能なデザインになる. 最終アクセス日: 2025 年 1 月 12 日. URL: <https://www.gizmodo.jp/2020/04/samsung-cardboard.html>.
- [12] C. Costello. The concept of zero waste. *Saving Food*, 2019. doi:10.1016/B978-0-12-815357-4.00013-4.
- [13] Pragya Sharma. Zero waste: Exploring alternatives through folding. 2021. doi:chrome-extension://efaidnbmnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://lensconference3.org/index.php/program/presentations/item/download/253_267fdcc3ad3e01ade414de50201fcf18.
- [14] Max Mueller Bhavan — Indien. Pragya sharma. 最終アクセス日: 2025 年 1 月 12 日. URL: <https://www.goethe.de/ins/in/de/kul/art/fmi/pas.html>.
- [15] Esra Enes and Başak SAYGILI. Zero waste and modular fashion design: A suggested collectionsıfır atik ve modÜler moda tasarımı: Bİr koleksİyon

- Önerişi. *Tekstil ve Mühendis*, Vol. 30, , 09 2023. doi:10.7216/teksmuh.1262844.
- [16] アディダスジャパン株式会社. あたりまえを、あたらしく。アディダスオリジナルスの定番モデルと parley for the oceans とのコラボレートコレクション ”adidas originals by parley”. 最終アクセス日: 2025 年 1 月 12 日. URL: <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000834.000003301.html>.
- [17] ADF webmagazine. アディダスオリジナルスが海洋環境保護に取り組む parley for the oceans とのコラボコレクションを発売. 最終アクセス日: 2025 年 1 月 12 日. URL: <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000834.000003301.html>.
- [18] Emily Reynolds. アディダスがつくる「海から生まれたスニーカー」が完成. 最終アクセス日: 2025 年 1 月 12 日. URL: <https://wired.jp/2016/06/10/adidas-parley-shoe/>.
- [19] S. Salhieh and A. Kamrani. Macro level product development using design for modularity. *Robotics and Computer-integrated Manufacturing*, Vol. 15, pp. 319–329, 1999. doi:10.1016/S0736-5845(99)00008-3.
- [20] J. Bonvoisin, Friedrich A. Halstenberg, Tom Buchert, and R. Stark. A systematic literature review on modular product design. *Journal of Engineering Design*, Vol. 27, pp. 488 – 514, 2016. doi:10.1080/09544828.2016.1166482.
- [21] Fabcafe. モジュールバッグ:kl ファッションウィーク向けのデザイン, 2024. 最終アクセス日: 2024 年 12 月 4 日. URL: https://fabcafe.com/jp/magazine/kl/modularbag_design_for_KL_fasionweek/.
- [22] AXIS web. プロダクトデザイナー 阿部憲嗣の「cy-bo」道具の境界を越える細胞のような梱包材, 2019. 最終アクセス日: 2024 年 12 月 4 日. URL: <https://www.axismag.jp/posts/2019/02/116229.html>.

- [23] andoo.jp. 安藤健浩デザイン室, 2022. 最終アクセス日: 2024 年 1 月 23 日.
URL: <http://www.andoo.jp/index-4.html>.
- [24] マルニ額縁画材店. さし箱・各種箱. 最終アクセス日: 2025 年 1 月 12 日. URL:
https://www.art-maruni.com/products/list?category_id=5&srsltid=AfmB0ooq5JNHY--su5JoUkh_mCXMSP7PaXMIuSiQVAM3rJylDDE2k9GD.
- [25] 一般社団法人プラスチック循環利用協会 (PWMI) . Lca を考える「ライフサイクルアセスメント」考え方と分析事例. 2022.

付 録

A. アート業界における梱包および関連課題に関する聞き取り調査

A.1 箱製作の専門家

プロフィール

さし箱・かぶせ箱などの特注箱を安価で提供。アート業界の知識と柔軟なスケジュール対応力から、ギャラリーから高く評価されている。画材店および画廊での勤務経験があり、アート業界に精通。

現状と課題

現在、一般的に使用されているパッケージは、さし箱、かぶせ箱、黄袋。立体作品用の箱や展示用カラーボックスは嵩張りがち。海外輸送では強化ダンボールが使用されるが、固すぎて扱いにくい場合がある。一般的な箱製作業者はアート作品の特性について十分な知識を持っておらず、特に平面作品の保護に適した箱についての理解が不足している。

モジュール式梱包箱のアイデアに対するフィードバック

平面作品ではなく立体作品にこそモジュール式デザインが活かせる可能性が高い。畳めるパッケージは輸送コストを削減できるため需要がある。展示台やカラーボックスも折り畳み可能な設計が求められる。ギャラリーは使い捨ての箱を好む

傾向が強い。特殊素材（GasQ など）は高価だが、アート作品を酸化から守るために有用。

A.2 ギャラリー訪問記録

訪問先ギャラリー

YOKOTA GALLERY, EUKARYOTE, Otherwise Gallery, ソノ アイダ（アートプロジェクト）

目的

アート作品の梱包作業の流れを把握する。使用している梱包材や箱屋さんの情報を収集。梱包における課題や理想的なデザインの要件を確認。

梱包の流れ

平面作品は黄袋＋被せ箱やタトウ箱で簡易に梱包し、宅急便に依頼するケースが多い。使用する梱包材としては、プチプチ（アクリル作品）、クラフト紙（油彩作品）、サンクラフトやアートコアマエダなどの業者を利用。立体作品はより複雑な梱包が必要。

梱包において重視する要素

安全性、コスト削減、過剰包装の回避。購買者が開封しやすい設計。

梱包に際する課題

大型作品の梱包材の入手が難しい。多様なサイズ・形状の作品に対応できる柔軟性が求められる。

提案

風呂蓋のように丸めて畳める構造や、山岳模型のような層構造を活用したデザイン。プチプチの代わりに、洗えるマジックテープ付き布のデザイン。

アート業界全体における環境に関する課題

展覧会で使用する壁材（木材）が無駄になりがち。梱包箱を使い回す習慣がない。モジュール式设计で他の展覧会にも再利用可能な仕組みがあれば良い。

共通する課題

梱包材のコスト削減と再利用性の向上が求められる。梱包材のリサイクルや廃棄時の環境負荷軽減の重要性。多様な作品形状への対応が難しい現状。

提案への期待

モジュール式设计は、コスト効率と環境配慮の両立に寄与する可能性がある。畳める設計や軽量化が輸送コスト削減に役立つ。強度さえ解決できれば便利。梱包だけでなく保管箱としても活用できると良い。

B. モジュール式梱包箱の組み立て・使用感に関するアンケート

B.1 アンケートの目的

本アンケートは、最終プロトタイプとして提案したモジュール式梱包箱の組み立ておよび使用感について評価を行い、実用性や改善点を明らかにすることを目的とする。

B.2 対象者

アンケートは、実際にアート作品の梱包作業経験を持つギャラリー関係者およびアーティスト3名を対象に実施した。

B.3 アンケート実施方法

方法

モジュール式梱包箱の組み立て・分解テスト後、Google フォームを使用してアンケートを行う。評価項目は、使用感、作業効率、強度、改善点。

B.4 アンケート結果

使いやすいと感じた点

構造が同じだと作業を習得しやすい。軽量で可変性が高いので、慣れればアイデアも出てきそうだと感じた。規格が揃っている点は使っていくうちに使いやすくなると予想される。

改善が必要だと感じた点

大きさが増した際の強度補完方法が気になる。重量物の場合、強度の不足が懸念される。可変性や柔軟性を活かせれば使いやすさが向上する。強度確保のため、モノにより二重、三重にする必要があるかもしれない。

アンケート質問項目

1. 梱包箱の組み立てにかかった時間を記入してください。
2. 組み立て作業は直感的でしたか？
3. 分解作業のしやすさについてどう感じましたか？
4. 完成後の梱包箱の強度についてどう感じましたか？

5. 完成した梱包箱は、アート作品の一時的な保管場所として適切に機能すると感じましたか？
6. 全体的な作業のしやすさについてどう感じましたか？
7. 使いやすいと感じた点があれば教えてください。
8. 改善が必要だと感じた点を教えてください。