科学館における我々の研究成果を体験できるコンテンツの長期展示の実践

鷲野 海[1]　金 宏潤[1]　松井菜摘[1]　富永虎太郎[2]　内田純平[1]　内海壮一朗[1]　大村一樹[1]　藤田直樹[1]
宮脇 輝[1]　大西鮎美[1]　藤本 実[3]　見明 暢[2]　寺田 努[1,a)]　塚本昌彦[1]

概要：研究成果の展示は，一般の人々に研究の価値を理解してもらう重要な手段である．ただし，展示をする際に研究成果をそのまま展示するだけでは，わかりにくく触れてもらえず，結果として展示場所に来る子供たちや一般の大人に興味をもってもらえる展示にならない．よって，展示場所に来る人々の興味をひくような，見て触れて楽しい展示物に転換する必要があり，さらにそれを体験させつつも研究内容を知ってもらう工夫が求められる．そこで本論文では，我々の研究成果を体験型に転換し，神戸市立青少年科学館で常設展示を一年間行った結果得られた知見を報告する．このような研究室単位で，研究成果を展示物に転換し，展示空間をデザインして常設展示するといった知見は，筆者らが知る限りまとまった報告がない．

1. はじめに

研究成果の展示は，一般の人々に研究の価値を理解してもらう重要な手段である．ただし，展示をする際に研究成果をそのまま展示するだけでは，わかりにくく触れてもらえず，結果として展示場所にくる子供たちや一般の大人に興味をもってもらえる展示にならない．よって，来館者の興味をひくような，見て触れて楽しい展示物に転換する必要があり，さらにそれを体験させつつも研究内容を知ってもらう工夫が求められる．

そこで，我々は大学の研究成果を広く知ってもらうことを目的に，これまでの研究成果を体験型に転換し，神戸市立青少年科学館で一年間にわたり常設展示した．この展示を行うにあたり，我々は図 1 に示す「ウェアラブル・ユビキタスの最先端を知ろう！」という題名の新技術体感コーナーを科学館内に新設し，展示台は神戸芸術工科大学の什器制作の専門家とともに制作するなど展示空間全体をデザインして，神戸大学の研究室の最先端の成果であることを最大限アピールした．さらに常設展示の間，季節ごとに展示物を入れ替えた．展示物は，メダルを入れると光る電飾募金箱，ダンスに合わせて光る電飾服，競争のモチベーションやパフォーマンスの向上を目指す研究を体験型にしたインタラクティブなゲーム「LED の光を用いた対戦型レース」をはじめとして，その他にも 4 つの研究成果を展示用に転換し，展示しているシステムの研究要素やそれを実現するための基礎的技術が理解できるようなパネルや動画も作成した．ただし本展示空間は説明員等がおらず，無人で展示を完結させる必要があるため，これらの展示物は無人での運用が出来るように設計した．

このような研究室単位で，研究成果を展示物に転換し，展示空間をデザインして常設展示するといった知見は，筆者らが知る限りまとまった報告がない．また，各県にある科学館では，科学技術を一般向けに展示しているが，大学と共同でつくられた研究成果を「体験できる」科学展示は，日本科学未来館や The Lab [1] などのみで事例が少ない．

そこで本論文では，我々の一年間の展示活動や作成した 12 種類の展示物を紹介し，常設展示によって得られた知見を報告する．具体的には，(1) 製作にあたり研究成果を展示物に転換する方法，(2) 来館者の興味をひく展示物の特徴，(3) 展示物に触れられることに対する耐久性を高める方法，(4) スタッフの常駐を必要としない無人での運用方法の 4 項目を中心に実運用の結果とともに述べる．

本論文では以降，2 章で関連研究を紹介し，3 章で神戸市立青少年科学館で行った展示の概要を説明する．4 章で作成した展示物を紹介し，5 章で展示活動によって得られた知見を説明し，最後に 6 章で本論文をまとめる．

2. 関連研究

日本の科学館における，科学館での活動報告，展示物の説明，展示物を用いた実証実験の報告など，日本の科学館での展示に関する文献は複数存在する．日本科学未来館の

1 神戸大学
2 神戸芸術工科大学
3 m plus plus 株式会社
a) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

© 2023 Information Processing Society of Japan

図 1　新技術体感コーナー「ウェアラブル・ユビキタスの最先端を知ろう！」

2011 年当時の副館長が日本科学未来館を紹介する文献では，日本科学未来館の特徴として，外部の研究者や技術者が中心に展示物を制作する点と，最新の科学技術の動向を把握し続けている科学コミュニケータが展示解説を行う点が挙げられている [2]．また，坊農らは，日本科学未来館のスタッフがどのように来館者とコミュニケーションをとっているかを調査し，スタッフのより良い対応について議論している [3]．他にも高梨らは，多職種の人々が展示制作を行う過程でどのような問題が起きるのかを，実際の展示制作の打合せを観察し，多職種の人々の共同開発における良いインタラクション方法について考察している [4, 5]．井上らは日本科学未来館にて，来館者へのアンケートの結果から展示をレコメンドするシステムを用い，内向的な人物はゲーム形式で体験する展示物を好むといった，来館者の性質と展示物の特徴の関係性をいくつか明らかにした [6]．

科学館や博物館において，展示物の特徴や展示方法の違いが，来館者に対する学習効調に及ぼす影響を調査した研究もいくつか存在する．Anderson らは，子供たちの博物館での体験において，どのような展示が学習に効果が高いかを調査し，インタラクティブに体験できるものや，普段遊んでいる遊具に似ている展示物，ストーリーがある展示物などの学習効果が高いことを示した [7]．Hall らはユビキタスコンピューティング技術を活用したインタラクティブな展示デザインについて調査し，12 のデザインガイドラインと 5 つの注意点をまとめた [8]．Sandifer らは，来館者の興味をひくインタラクティブな展示を調査し，技術的に新しい展示，もしくは様々な体験方法が有り得る展示物が来館者の興味をひくことを示した [9]．Allen らは学習効果が高い展示デザインについて調査し，即時に理解できる展示物，インタラクティブな展示物，展示空間にテーマが存在する展示物，全ての来館者が体験できる展示物は学習効果が高いと述べた [10]．

以上の関連研究に示されたとおり，日本の科学館に関する研究では，展示物の制作過程について何を気をつけるべきかを知ることができる．また，どのような展示物や展示方法が，来館者に対する学習効果が高いかを調査した研究は，展示物を制作していくうえで参考にするべきである．しかしこれらの研究では，壊れにくい展示物，研究を展示物に転換する際の設計方法，無人の展示をする方法などは論じられてはいない．また，インタラクティブな展示物の中でも，より興味をひきやすい展示物の特徴は具体的に調査されていない．これに対して本論文では，研究を展示用に転換する際の設計方法，興味をひく展示物の特徴，展示物の耐久性を向上させる方法，無人で展示をする方法に注目して得られた知見を紹介する．

3.　神戸市立青少年科学館における展示の概要

展示を行った神戸市立青少年科学館は，神戸市三宮の南側に位置するポートアイランドに 1984 年に設立され，毎年入場者数 30 万人を超える科学博物館である [11]．本展示は，「新技術体感コーナー: ウェアラブル・ユビキタスの最先端を知ろう！」と題した約 5 m × 8 m の空間で行った．神戸青少年科学館などの科学館や博物館は子ども達の学びの場になる必要があるため [12]，我々の展示を体験することで，神戸大学の研究成果を学習できるように展示物を設計した．

本展示では，神戸大学の様々な研究成果を出来る限り多く展示するために，一年間の展示期間中に，展示物の入れ替えを複数回行った．一年間の展示スケジュールを図 2 に示す．一年間で合計 12 種類の展示物を展示しており，途中で展示をやめた展示物や途中から展示を開始した展示物がある．図 2 では，計画的に展示を休止した展示物を黒色，展示を続ける予定だったが故障のため計画外に展示を休止した展示物を赤色で示している．また細かい故障もわかるように，図 2 の中で故障したタイミングをマークで示している．この図 2 より，故障によって展示を断念したものが複数存在し，故障は展示物によっては複数回起こっていることがわかる．

© 2023 Information Processing Society of Japan

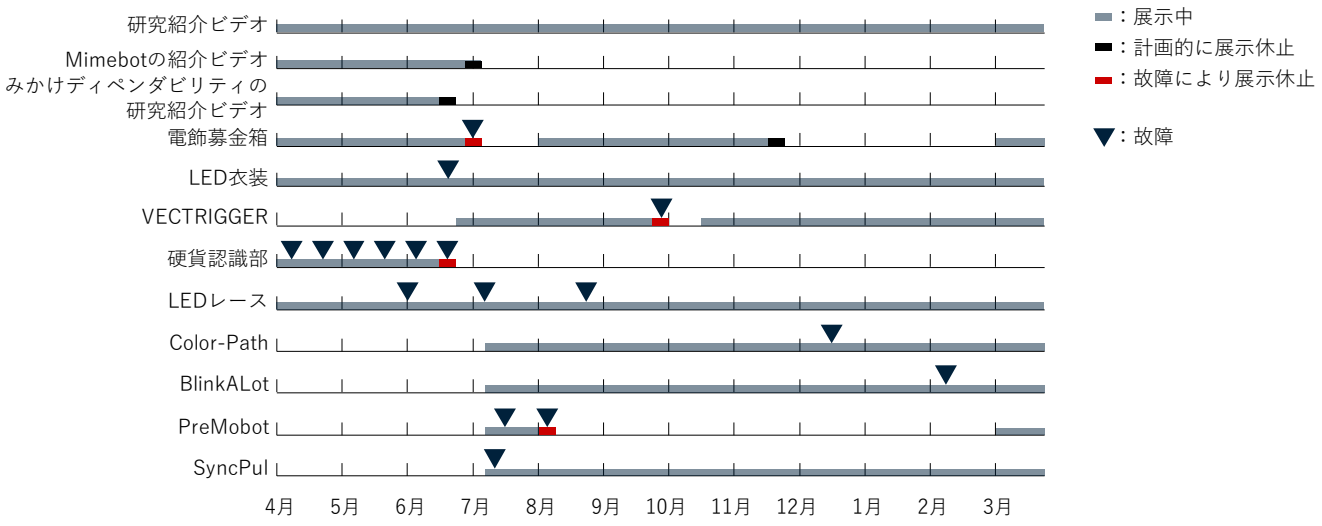

図 2　一年間の展示スケジュール

(a) 複数の展示台が連なる様子　(b) 背面側の配線の様子

図 3　展示台

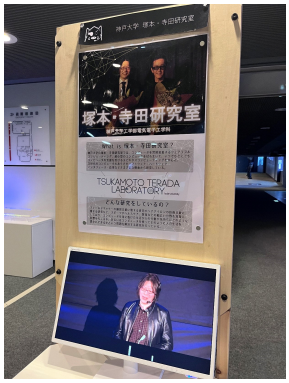

図 4　研究成果を動画で説明するビデオ型展示物

展示の準備段階では，まず我々は基本的な展示空間の設備確認と，展示空間のデザインの一環で最先端の技術展示で少し周囲と異なるように目立たせるための展示台作成に取り組んだ．展示空間の設備としては，展示エリアの寸法測定，消防設備の位置確認，電源コンセントの位置や供給電力を確認した．その情報をもとに，展示物が必要とする電力と設置位置を最適に決定した．

さらに，図 3 に示される展示台を，神戸芸術工科大学の什器制作の専門家である富永と見明が中心となり制作した．この展示台はパネルの取り外しと展示台同士の接続が可能である．また，素人でも展示台を板に分解でき，展示物の個数に合わせて展示台の位置や個数を簡単に変えられる．さらに，我々の展示では多くの電源コードや接続用のコードが必要となるため，展示物を邪魔せずに展示台の背面側の隙間から配線を行える構造を採用した．

4.　展示物の詳細

一年間の展示では，合計 12 種類の展示物を作成し，数回の入れ替えを行った．本展示の展示物は，神戸大学の研究成果をもとに制作した展示物であり，展示の種類は，ビデオ型展示物，作品型展示物，専用展示物の 3 つに大きく分けられる．ビデオ型展示物は研究成果を動画にしたもので，作品型展示物は既に作成したシステムを展示するもので，専用展示物は研究室の成果をもとに，本展示のために設計し，実装した本展示専用の展示物である．

4.1　ビデオ型展示物

ビデオ型展示物は，研究成果を動画で説明する展示物である．ビデオ型展示物を図 4 に示す．ビデオ型展示物は，2020 年から 2022 年の三年間に，我々の研究室が行った 23 種類の研究をそれぞれ 10 秒程度で紹介する研究紹介ビデオ，球体型移動ロボットである Mimebot の紹介ビデオ [13]，システムに何らかの異常が生じた際の視覚的な演出効果の低下を防ぐために，視覚的な提示方法を工夫して観客の違和感を低減するみかけディペンダビリティについて紹介するビデオ [14, 15] の計 3 種類がある．

ビデオ型展示物では，無人で展示をする方法として，ビデオの再生制御と，ディスプレイとビデオの電源制御を行った．無人で展示をするために，ビデオの再生は自動化

© 2023 Information Processing Society of Japan

する必要があり，本展示では，再生をループするためにメディアプレイヤ (400-MEDI020H, サンワサプライ株式会社) を使用した．また，ディスプレイとビデオの電源の制御として，ディスプレイ (PTFWLD-22W, PRINCETON) とメディアプレイヤが，電力の供給によって自動で電源がオンになるものを用意した．神戸市立青少年科学館では，全ての電源は科学館全体で制御しているため，電源のオフを自動でする必要はない．しかし展示物は，電力が供給されると自動で電源オンになる必要があるため，ディスプレイとメディアプレイヤは，給電されると自動で電源がオンになるものを用意した．また本展示では，電源の制御ができる SwitchBot ボットを全てのディスプレイに設置している．SwitchBot ボットは，スイッチを物理的に押下する機能をもち，その機能によって，ディスプレイの電源のオンとオフを制御できる．SwitchBot ボットは指定の時間に指定の操作が可能であり，遠隔操作もできるため，展示物の電源を柔軟に制御できる．

4.2 作品型展示物

作品型展示物は，研究として実装したシステムや，実際のイベントで使用したシステムを，ほとんど変更せずに展示する展示物である．作品型展示物は 3 種類あり，実際の募金活動で複数回使用した電飾募金箱や，ショーで実際に使用した LED 衣装，研究活動の一環で実装した VECTRIGGER がある．

電飾募金箱

電飾募金箱は，実際にイベントの募金活動で使用した募金箱である．本展示では，3 種類の電飾募金箱を展示した．図 5 に電飾募金箱を示す．募金活動における電飾募金箱は，硬貨の投入をトリガとして LED の光り方が変化し，それを見て募金行為を楽しんでもらうことを目的に制作された．本展示でも来館者が同様の体験をできるように，研究室のオリジナルメダル (以下，メダル) を制作し，来館者がメダルを入れるとそれをトリガとして LED の光り方が変化する募金箱を 1 種類設置した．他 2 種類の募金箱は，来館者がボタンを押下することで募金箱の LED の光り方が変化する．

電飾募金箱では，展示物の耐久性を高める方法として，展示物を囲っているアクリルケースの強度を向上すると壊れにくくなることがわかった．電飾募金箱の展示では，展示のケースが破損したため 1 度展示を休止し，ケースを再度作成した後に展示を再開した．壊れたケースは厚さ 3 mm のアクリルで作成し，壊れにくいよう設計していたが，おそらくケースに強い負荷がかかり，ケースの破損が起きた．再作成したケースは 3 mm のアクリル板を 2 重にすることで強度を向上したもので壊れずに運用できている．よって，展示には強い負荷がかかる可能性があるため，全ての部品について強度を高めるか，力をかけられない構造にする必要がある．

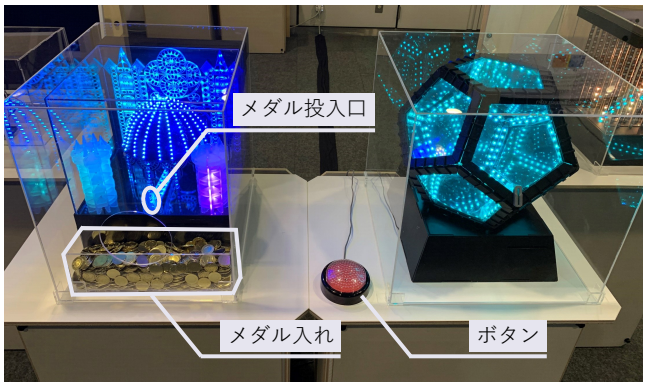

図 5 メダルの投入やボタンの押下によって光り方が変化する電飾募金箱

また，無人で運用する方法として，電飾募金箱のメダル入れの位置の工夫が必要であった．電飾募金箱では，メダルをいれる体験ができ，体験者はメダルを持ち出せる構造になっている．そこで，来館者がメダルを持ち出しにくくなるように，メダル入れをアクリルケース内に設置した．図 5 に示すように，体験者はメダル入れからメダルを手に持ち，ケースから手を出すことなくメダル投入口にメダルを入れる構造になっているため，メダルをケースから出す行為が起きにくく，メダルを持ち出さない効果があると考えられる．

LED 衣装

LED 衣装は，2019 年に横浜市の横浜美術館前で行われたショーである「ピカチュウ大量発生チュウ！」で初披露され [16]，今も様々なステージで活用している．LED 衣装の仕組みは，藤本が神戸大学在学中に研究のひとつとして制作し [17]，本展示の LED 衣装もその研究をもとに制作した．

本展示では，図 6 のようにマネキンが LED 衣装を身に着けており，衣装の LED の光り方が常時変化している．LED 衣装自体の展示以外にも，LED 衣装を用いたショーの映像や LED 衣装の説明パネルなどを展示している．

LED 衣装の展示を無人で運用するために，LED 衣装は自動でさまざまなパターンで光るよう設計し，来館者が LED 衣装の光り方を見るだけで楽しめるように展示している．また，本展示のマネキンは転倒防止や展示に触れられないように，周りをベルトパーティションで囲われている．しかし，囲われているにも関わらず，マネキンを触る人が複数人おり，ベルトポールパーティションでは人の行動をうまく制御できていなかった．

VECTRIGGER

VECTRIGGER は，LED アレイの光を流れるように点灯させることで，ベクションを誘発させるヘルメット型のデバイスである [18]．

本展示では，VECTRIGGER をケースで囲み，来館者は

© 2023 Information Processing Society of Japan

図 6　ダンスに合わせて LED の光り方が変化する LED 衣装

図 7　LED アレイの光でベクションを誘発させる VECTRIGGER

VECTRIGGER を覗き込むことで，ベクションを感じることができる．展示している VECTRIGGER を図 7 に示す．VECTRIGGER は 2 つのケースで囲まれており，手前のケースは透明で，奥のケースは黒色である．奥のケースを黒色にすることで，LED の光を強く感じ，来館者がベクションをより感じやすくしている．

本来 VETRIGGER は，ユーザが頭に装着することでベクションを誘発するデバイスであるが，本展示の VECTRIGGER は無人で運用する必要があるため，装着をせずに外から VECTRIGGER の中を覗き込むことで，ベクションを感じることができるよう展示した．

4.3　専用展示物

専用展示物は，本展示専用に新しく設計した展示物である．専用展示物は，ゲーム性やインタラクティブ性が高くなるように研究成果を転換した展示物で，来館者がゲームのプレイやインタラクティブな体験を通じて，研究成果の理解や研究成果自体の体験をできるよう設計した．専用展示物は計 6 種類で，電飾募金箱の仕組みの理解を助けるメダル認識部，研究成果を体験できる 5 つの展示物 (LED レース，Color-Path，BlinkALot，PreMobot，SyncPul) がある．

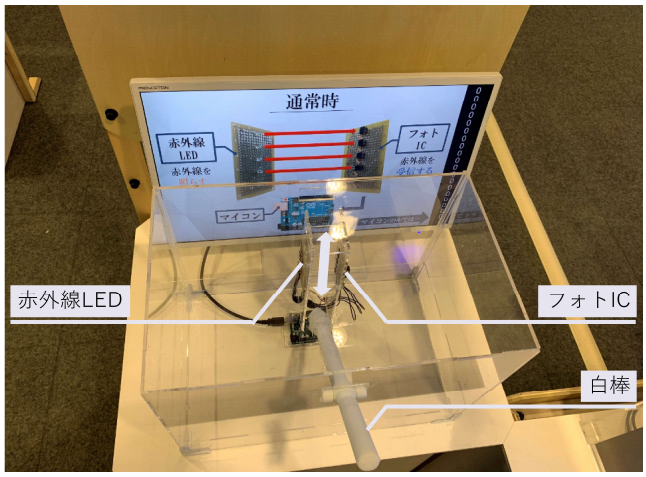

図 8　電飾募金箱がメダルを認識する仕組みがわかるメダル認識部

メダル認識部

電飾募金箱は，赤外線 LED とフォト IC を用い，メダルの投入を検知する．電飾募金箱では，赤外線 LED とフォト IC は向かい合って設置されており，通常時はフォト IC は赤外線を受光しているが，メダル投入時にはメダルが赤外線を遮断するため，フォト IC が赤外線を受光できなくなる．電飾募金箱の展示では，来館者はメダルの認識機構を見ることができないため，メダル認識部ではメダルの検知機構を可視化した．

メダル認識部は図 8 のように展示しており，来館者は白棒を操作することで，メダルの検知の仕組みを理解する．本展示では，来館者が白棒を引き下げると，白棒が赤外線 LED とフォト IC の間に移動し，赤外光を遮断する．白棒が検知されると，その検知の仕組みがディスプレイ上でわかりやすく説明される．

メダル認識部では，展示物の耐久性を高める方法として，来館者が展示物に力をかけにくいように展示物を設計する必要があるとわかった．メダル認識部では，来館者が白棒を引き下げると，ケースの上部に白棒が接触する．よって，来館者が白棒を引き下げる力が強いと，白棒とケースの上部の接触点にかかる力が強くなり，白棒やケースが破損する．本展示では，白棒やケースの強度の向上を数回行ったが，強度向上に関わらず，白棒やケースが複数回破損した．これにより，力がかかりやすい構造の部位は，強度を向上しても破損することがわかった．よって，展示物の耐久性を高めるには，強度の向上だけでなく，展示物に力がかけられにくい構造が必要である．

LED レース

この展示のもととなっている研究は，短距離練習者の横に LED を複数個設置し，過去の走行を再現するように LED を光らせることで LED の光を競争相手に見立て，練習者のモチベーションを向上させるというものである [19]．

© 2023 Information Processing Society of Japan

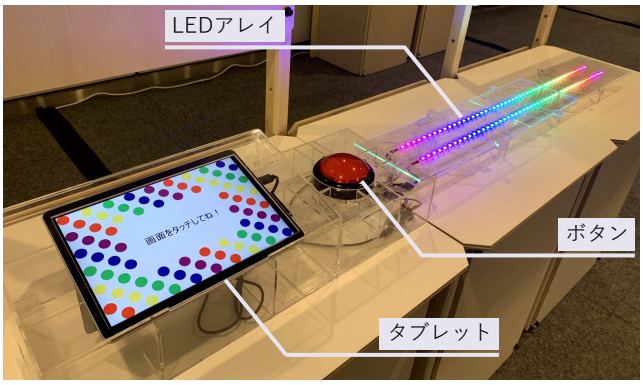

図 9 ボタンの連打速度によって LED の点灯速度が変化する LED レース

図 10 AR 表示でヘアアイロンの動かし方を学べる Color-Path

過去の記録を LED の光が再現することによって，モチベーションの向上や記録の向上が起こることを来館者に体験してもらうために，展示用にコンパクトに転換した図 9 の LED レースを制作した．

LED レースでは 50 粒の LED アレイを 2 列設置し，片方の LED アレイの光り方は来館者のボタンの押下速度によって変化し，もう片方の LED アレイの光り方は過去の記録を再現する．体験者は過去の記録と競うようにできるだけ早くボタンを連打して，50 個すべての LED を光らせることを目指す．来館者はタブレット端末で LED レースの開始といった操作や，ボタン押下のスピードおよびその日の体験結果のランキングが確認できる．

LED レースでは，展示物の耐久性を高める方法として，展示物の位置を変更することで来館者が力をかけにくくなり，故障回数が減ることがわかった．LED レースは，タブレットのケースの破損によって，展示を休止していた期間がある．タブレットのケースの破損は，体験者が LED レースをプレイ中にボタンを連打する右手と反対の手 (左手) をタブレットに置くことで，タブレットのケースがその負荷に耐えられずに破損していたと考えられる．そこで，タブレットに左手が置かれにくいようにタブレットを少し奥に設置したところ，タブレットのケースは破損しなくなった．タブレットの位置を少し工夫すると壊れにくくなったことから，展示物の位置を力がかけられにくい場所に変更することは，展示物の耐久性を高めるのに有効であるとわかった．

Color-Path

この展示のもととなった研究としての Color-Path は，AR 表示によりヘアアイロンの動かし方を直観的に理解させ，ヘアアレンジを支援するスマートミラー型のシステムである [20]．この研究を展示用に転換するにあたり，実際のヘアアイロンを用いて髪に熱を加えるのは，安全性の面で無人での運用が難しいため，ヘアアイロンを模した棒状の疑似ヘアアイロンを用いることとした．疑似ヘアアイロンは，本物のヘアアイロンに近い見た目のデバイスにすると，子ども達が家に帰ってから本物のヘアアイロンを触って怪我をする可能性があるため，本物のヘアアイロンとは異なる見た目になるようにデザインした．また，ヘアスタイルに関係なく体験できるように，動かし方によってディスプレイに映る体験者の髪形が変化するようにした．

展示用の Color-Path には，研究を展示用に転換する方法として，マスクを装着した来館者の顔を認識できる技術を組み込んだ．本展示期間中は，COVID-19 の影響でマスクを着用している人が多かったため，マスクをつけた顔を認識するために MediaPipe [21] を使用した．MediaPipe は Google が開発している機械学習ライブラリであり，MediaPipe の Face Detection モデルを使用することで，マスクを着用した状態でも顔が認識できる．研究を展示用に転換するためには，マスクの着用といった，体験者の状態を考慮したシステム設計を行う必要があることがわかった．

BlinkALot

瞬目のタイミングによってオブジェクト追跡テストのスコアが異なるため，瞬目には不適切なタイミングが存在することがわかっている [22]．また，我々の研究成果ではないが，視覚的に集中が必要なときやゲームのプレイ中に瞬目が減少することもわかっている [23, 24]．これらの研究成果を体験してもらうために，ゲームプレイ中の瞬目タイミングや瞬目頻度を体験者に提示するゲーム，BlinkALot を制作した．

BlinkALot を図 11 に示す．BlinkALot は，ゲーム中の瞬目が減少することと，まばたきのタイミングがゲームのスコアに影響することを体験できる展示物である．BlinkALot では，ボタン押下をトリガとしたジャンプで障害物を避け続けて，障害物に当たらなかった時間を競うゲームをプレイさせ，プレイ後に瞬目の頻度とタイミングが提示される．

BlinkALot では，研究を展示に転換する際に，Color-Path と同様，マスクを装着した顔を認識する必要があったため，顔の認識に MediaPipe の Face Detection モデルを使用した [21]．

また BlinkALot では，展示物の耐久性を高める方法と

© 2023 Information Processing Society of Japan

図 11　ゲーム中のまばたきの減少がわかる BlinkALot

して，体験者の操作の選択肢を少なくする手法が有効であることと，システムの応答を正確に早くすることが必要であることがわかった．BlinkALot では体験者の操作の選択肢はボタンを押下する以外存在しないため，故障が 1 回しか起きなかった．1 回の故障は，使用による劣化でボタンの反応が悪くなり，体験者が強くボタンを押すようになったため，ボタンが機能しなくなったことで生じた．以上より，体験者の操作がボタンを押下するだけといった，操作の選択肢が少ないシステムは故障の頻度が低いことがわかった．また，ボタン劣化などでシステムの応答が不正確になると，体験者の操作が激しくなり故障が起こることがわかった．

PreMobot

この展示のもととなった研究は，手首に装着した加速度センサの値から，空手の突きの予備動作を推定するものである [25]．突きの予備動作の有無は，その突きの加速度データの波形と，予備動作が無い突きの加速度データの波形の類似度から判定する．

この研究をベースに，予備動作の推定手法を体験できる図 12 の PreMobot を制作した．PreMobot は，来館者にパンチ等の動作をさせ，その動作に予備動作が含まれているかを判定する展示物である．PreMobot の体験の流れとして，まず体験者は慣性センサが入ったリストバンドを手首に装着する．装着後，体験者はパンチといった動作をするよう指示される．指定のジェスチャを行った後，システムはそのパンチに予備動作が含まれるかを推定し，その予備動作が大きいと高いスコアを表示する．最後に，体験者は慣性センサをセンサ台の正しい位置に戻す．

PreMobot では，展示物の耐久性を高める方法として，来館者の操作の選択肢が多いと故障やエラーが起きやすいため，来館者の操作の選択肢を少なくする必要があるとわかった．PreMobot では来館者は慣性センサを自由に操作できる．例えば，慣性センサを大きく振る，細かく複数回振るなど，来館者の操作の選択肢が多く，予期せぬ動作の種類が多かったため，システムエラーが多発した．また体験終わりに，慣性センサをセンサ台の正しい位置に戻して

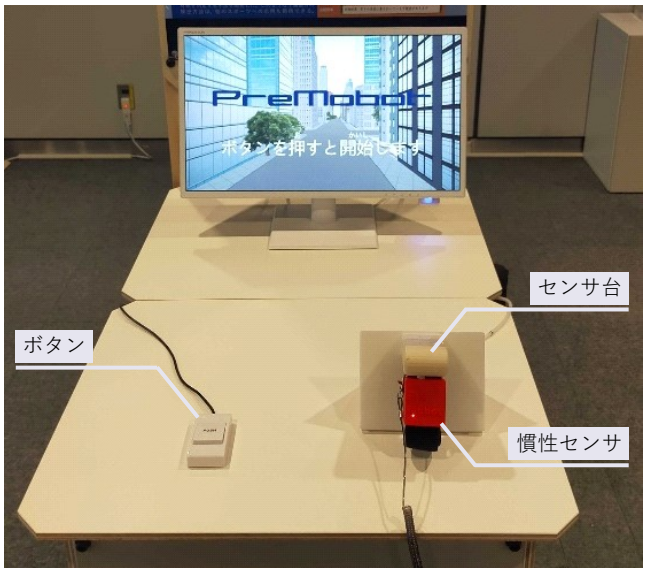

図 12　パンチに予備動作が含まれているかを判定する PreMobot

もらう必要があったが，慣性センサを戻さずに放置する体験者や，間違えた戻し方をする体験者がみられ，それが原因でセンサ台も複数回破損した．よって，来館者による展示物の操作の自由度が高いと，展示物の故障が多発するため，体験の流れをより自然にし，操作の選択肢を減らす必要がある．

また PreMobot では，無人で展示を運用する方法として，センサを充電しやすくなる工夫や，閉館中にセンサを充電し続ける工夫を行った．慣性センサの充電には，マグネット充電ケーブルを使用しており，充電端子を差すのではなく，近づけるだけで簡単に慣性センサと充電ケーブルが接続する．これによって来館者は簡単に慣性センサを充電できるようになった．また，閉館中に慣性センサを充電し続けることで，開館後に手動でセンサの電源をオンにせずとも．システムが動作するように設計した．慣性センサは充電が無くなると，手動で電源をオンにする必要がある．よって，無人で展示をする必要がある PreMobot は，慣性センサを充電し続ける必要がある．そこで，閉館時間でも充電ができるようモバイルバッテリを使用した．開館中には，モバイルバッテリは科学館の電源から充電され，閉館中は慣性センサに電力を供給する．以上のように，本展示では，マグネット充電ケーブルやモバイルバッテリを使用し，無人での展示の充電問題を解決する工夫を行った．

SyncPul

心拍数の提示は提示された者の心拍数を変化させる．例えば，複数人の心拍数の平均値を各個人に提示すると，各個人の心拍数が平均値に近づく傾向がある [26]．また，虚偽の心拍数の提示が，提示された本人の心拍数を変化させることもわかっている [27]．

そこでこれらの研究をもとに，複数人の心拍数の提示や，体験者自身の心拍数の提示が，体験者の心拍や感情に

© 2023 Information Processing Society of Japan

図 13　心拍数の提示が人に与える影響を体感する SyncPul

どのような影響を与えるかを体験できる図 13 の SyncPul を制作した．SyncPul は，体験者が筐体に描かれている手形に合わせ手を置き，ボタンを押下することで開始する．SyncPul では，筐体の手形の人差し指部分に，心拍センサ (HEART Unit, M5Stack) を設置しており，体験者が手形に手を置くことで心拍が計測可能になる．体験中は体験者は手を置いた状態を保ち，ディスプレイに表示される心拍のグラフとホラー動画を見る．ホラー動画によって心拍数が変動し，その体験者自身の心拍数の変動，もしくは他者の心拍数の変動を体験者が認知することで，体験者の感情や心拍の変動，体験者同士のコミュニケーションの発生などが起きると考えられる．なお SyncPul は一度に 1 名から 4 名まで体験できる．

SyncPul では，展示物の耐久性を高める方法として，体験者の操作の選択肢を少なくし，力をかけられる部位の強度を向上することで，壊れにくくなることが示唆された．SyncPul は体験者が操作できる部分がボタンのみであるため，操作の選択肢が少ない．また，手を置く筐体は内部が格子状の構造になっており，頑丈なため力がかかっても壊れにくい．体験者の操作の選択肢が 1 つしかなく，力がかかる部位の強度が高いため，SyncPul は故障が少なかった．

5.　展示での試行錯誤と学び

一年間の展示物作成や常設展示から，(1) 製作にあたり研究成果を展示物に転換する方法，(2) 来館者の興味をひく展示物の特徴，(3) 展示物に触れられることに対する耐久性を高める方法，(4) スタッフの常駐を必要としない無人での運用方法の 4 項目について得られた知見をまとめる．

5.1　研究成果を展示物に転換する方法

研究の展示化は，3 つの設計指針に準じて行った．3 つの設計指針は「展示物に興味をひかせる」「展示物の意図を伝える」「研究を理解させる」であり，展示はこの 3 つを満たす必要がある．この 3 つの設計指針は，展示物を通じて，より多くの来館者が研究を学ぶために必要な指針であると考える．

この 3 つの設計指針は，来館者が展示物を通じて研究を学習する工程から導き出された．来館者が研究を学習する工程は，まず (a) 展示空間や展示物に興味をもち，(b) 展示物を体験し展示物の意図を理解し，(c) ポスターなどを通じて研究を理解するという流れである．なお，ここでの展示物の意図とは，展示物の体験を通じて体験者に気づいてもらいたいことを指す．例えば SyncPul の意図とは，体験者自身や他者の心拍数の変化をみることが，自分に何らかの影響を与えているかもしれないと感じることである．

以上をふまえ本展示は，最終的に 3 つの設計指針に準じて設計している．まず，「展示物に興味をもたせる」ために，展示台の統一やポスターのデザインの統一によって，科学館の他の展示と差別化して展示空間自体の境界をわかりやすくし，来館者の興味をひくよう設計した．他にも，展示物によって来館者の興味をひくために，LED レースでは待機時に常時 LED の光を変化させた．他の展示物では，ボタンをわかりやすく設置することで，来館者がボタンを押したくなるように誘導し，手形や椅子をおくことで，来館者が展示物を操作するように誘導した．

次に「展示物の意図を伝える」ために，展示物自体のルールを複雑にせず，意図の理解に来館者が集中できるようにした．例えば，BlinkALot ではゲームのプレイ難易度を低くし，プレイ中に瞬目を意識することや，ゲームが終わった後に自分の瞬目の頻度について考えるといった余裕ができる．また，意図が理解しやすくするための設計方法として，SyncPul では，体験開始前に展示物の意図の説明を行う．最初に意図を説明されることで，体験中にも展示物の意図を理解しつつ体験することができる．

最後に，「研究を理解させる」ために，各展示物の展示台の背面に設置したポスターに展示物のそれぞれの研究背景と研究結果を掲示している．展示物体験中に研究の説明をすると，展示物の意図を来館者が理解しにくい可能性がある．そこで，まずは展示物を体験してもらい，展示物体験後に体験者がポスターを見て研究を学ぶことができれば，学習効率が高いと考えた．これら 3 つの設計指針によって，本展示の目的である，来館者が展示物の体験を通じて研究を学習するという目的が果たせているのではないかと考えている．

5.2　来館者の興味をひく展示物の特徴

次に来館者の興味をひく展示物の特徴だが，これは先行研究 [7,9,10] や筆者らの観察によって，インタラクティブな展示物がやはり興味をひくことがわかっている．ビデオ型展示物よりも，電飾募金箱のように，体験者の操作に一定の反応を返す展示物が体験者の興味をひいていた．さら

© 2023 Information Processing Society of Japan

に，一定の反応を返す展示物よりも複雑なインタラクションをもつ専用展示物が興味をひきやすかった．また，インタラクティブな展示物の中にも，椅子がある展示物や手形がある展示物など，展示物の外観が体験者の行動を指示 (座る，手を置くなど) している展示物が興味をひきやすい傾向にあった．他の特徴としては，操作が簡単な BlinkALot などの展示物と比較して，Color-Path のように操作が複雑な展示物は，途中で体験をやめる体験者が多かった．以上より，興味をひく展示物の特徴は，インタラクティブであること，展示物の外観が体験者の行動を指示していること，操作が簡単であることが示唆される．

5.3 展示物の耐久性の向上

展示物の耐久性を向上させるためには，まず展示物をどのように壊れにくい構造にするかが重要である．壊れやすいものは，強度が低く力がかかりやすいものであるため，展示物の強度をあげる，または展示物に力がかかりにくい構造にする必要がある．安全性を高めるために設置した本展示のアクリルケースは，強度を強くしたことで壊れにくくなり，耐久性が向上した．また，LED レースでは，タブレットのケースの位置によって力のかけられやすさが異なった．BlinkALot や SyncPul では，体験者がボタン以外を操作できないため壊れにくく，逆に PreMobot は体験者の操作の自由度が高すぎて壊れやすかった．他にも BlinkALot では，ボタンの反応が悪い際に，ボタンを雑に扱われてしまい故障した．以上より，展示物の耐久性を向上させる方法は，強度を高くすること，力がかからないように展示物の構成部位の位置や数を工夫すること，システムの応答性を良くすることが必要であるといえる．

5.4 スタッフの常駐を必要としない無人での運用方法

最後に，無人で展示をするには電源の管理と，体験者の行動を暗黙的に制限することが必要である．電源管理に関して，電源のオンとオフの切り替えには，自動で起動するディスプレイやメディアプレイヤを用意し，SwitchBot ボットも用意した．他にもコンセントのプラグに SwicthBot プラグを設置することで，電源の管理が容易になり，それぞれの展示物の電力を確認することも可能になる．また，電力の確認によって，誤作動もわかる．例えば LED 衣装に流れている電力が低下している場合 LED 衣装が不具合によって，一部もしくは全部作動していないことがわかる．他にも，PC を使用する展示物では，PC の電源が切られた状態で PC が充電されると電源が入るよう設定し，電源を切る方法は，フリーソフトの WinDownList を用い，閉館時間をデータベースに記述することで電源を切っている．

また，体験者の行動を暗黙的に制限することで，誤作動や故障を抑えられることがわかった．例えば，募金箱のメダル入れをケース内に設置することで，体験者の行動を簡易的に制限しメダルの紛失を少なくできたと考える．逆に慣性センサを身に着ける展示物のように行動を制限できなかった場合，誤作動がおき故障も増えることがわかった．さらに，行動の効果的な制限方法として，LED 衣装のようにパーティションで分けただけでは行動はうまく制限できないこともわかった．

5.5 効果や展望

本展示によって，神戸市立青少年科学館の来館者が神戸大学の研究成果を学ぶ機会を提供できたと考えている．大学の研究者は，地域住民や未来を担う子供たちが大学における研究成果を広く知るために，触れて体験できる機会をつくっていくべきである．この取組みを通して，神戸市立青少年科学館において神戸大学の最先端の研究成果を体験できる常設展示を作ることができた．このような展示コーナーで大学の最先端の研究成果を見ることは，来館者の学術への興味を喚起するうえでもよい事例になると考えている．来館者が，本展示コーナーでの体験を通じて，科学展示に興味をもつこと，大学での研究を知るきっかけとなることを期待している．

また，この取組みが順調に進んだことで，2023 年度も引き続き展示を行えることとなった．我々としては一年間の展示とその試行錯誤から，本論文で紹介したような様々な知見が得られた．しかし，安定した長期展示や，さまざまな研究を展示物へ転換するには，解決すべき問題や調査すべき点が多くある．よって，2023 年度以降の展示では，これらの問題点の解決方法の模索や，調査を進めていくとともに，新たな展示方式を考案し．興味をひく展示物や来館者の行動を自然に誘導できる方法についても調査していきたい．また，今回の展示物の一部には研究としてデータが蓄積できるようなものを含み，本展示は社会実証的な側面を備えているため，これらのデータから新たな知見が得られる可能性がある．

6. まとめ

本論文では，神戸市立青少年科学館での一年間の常設展示について詳細をまとめ，展示した 12 種類の展示物について，それらの展示物の故障の原因や工夫点について報告した．個々の展示物の運用の事例をまとめ，研究の展示化を行ううえでの必要な設計指針をまとめ，興味をひく展示物がインタラクティブな展示物であることを示し，展示物の耐久性を高めるために，展示物に力がかからない工夫をいくつか紹介し，無人での運用には電源の管理と体験者の行動を暗黙的に制限する必要があることを述べた．本論文の一年間の展示を通じた事例や知見の紹介が，研究を展示物に転換する際や，無人での展示を行う際に，少しでも役立つ情報となることを願っている．

謝辞 本研究の一部は，JST CREST(JPMJCR18A3)

© 2023 Information Processing Society of Japan

の支援によるものである．ここに記して謝意を表す．

参考文献

[1] 一般社団法人ナレッジキャピタル: ザ・ラボ, https://kc-i.jp/facilities/the-lab/ (Accessed 2023-07-28).

[2] 小中元秀: 日本科学未来館の科学コミュニケーション活動, 日本化学会情報化学部会誌, Vol. 29, No. 1, p. 10 (Mar. 2011).

[3] 坊農真弓, 高梨克也, 緒方広明, 大崎章弘, 落合裕美, 森田由子: 知識共創インタフェースとしての科学コミュニケーター：日本科学未来館におけるインタラクション分析, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 15, No. 4, pp. 375–388 (Nov. 2013).

[4] 高梨克也: 特集論文多職種チームにおける協働のための工夫と困難, 質的心理学フォーラム, Vol. 9, pp. 45–53 (Sep. 2017).

[5] 平本 毅, 高梨克也: 社会的活動としての想像の共有, 社会学評論, Vol. 66, No. 1, pp. 39–56 (Feb. 2015).

[6] 井上 恵, 山下和也, 内藤まゆこ, 古田真理, 高岡昂太, 本村陽一: 科学館における来館者の満足度向上と科学館スタッフのスキル向上貢献のための回遊行動分析, 日本行動計量学会大会抄録集, Vol. 48, pp. 138–141 (Sep. 2020).

[7] D. Anderson, B. Piscitelli, K. Weier, M. Everett, and C. Tayler: Children's Museum Experience: Identifying Powerful Mediators of Learning, *Curator: The Museum Journal*, Vol. 45, No. 3, pp. 213–231 (July 2002).

[8] T. Hall and L. Bannon: Designing Ubiquitous Computing to Enhance Children's Learning in Museums, *Journal of Computer Assisted Learning*, Vol. 22, No. 4, pp. 231–243 (Aug. 2006).

[9] C. Sandifer: Technological Novelty and Open-endedness: Two Characteristics of Interactive Exhibits that Contribute to the Holding of Visitor Attention in a Science Museum, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 40, No. 2, pp. 121–137 (2003).

[10] S. Allen: Designs for Learning: Studying Science Museum Exhibits that Do More than Entertain, *Science Education*, Vol. 88, No. S1, pp. S17–S33 (2004).

[11] 阪上公博: 神戸市立青少年科学館, 日本音響学会誌, Vol. 64, No. 12, p. 736 (Dec. 2008).

[12] 小谷卓也, 野上智行: 科学系博物館における『発明クラブ』に期待される学びの特徴- 神戸市立青少年科学館を事例として -, 日本科学教育学会年会論文集, Vol. 24, pp. 269–270 (May 2000).

[13] S. Tsuchida, T. Takemori, T. Terada, and M. Tsukamoto: Mimebot: Spherical Robot Visually Imitating a Rolling Sphere, *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, Vol. 13, No. 1, pp. 92–111 (Apr. 2017).

[14] 久保田倉平, 寺田 努, 柳沢 豊, 塚本昌彦: LED パフォーマンスにおける故障による違和感の定量化の検討, 研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC), Vol. 2019-EC-52, No. 13, pp. 1–7 (June 2019).

[15] 柳沢 豊, 藤本 実: LED 衣装システムの演出装置としてのディペンダビリティについて, 研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN), Vol. 2017-GN-100, No. 18, pp. 1–7 (Jan. 2017).

[16] 株式会社ポケモン: ピカチュウ大量発生チュウ！, https://www.pokemon.co.jp/ex/pika_event/ (Accessed 2023-07-28).

[17] 藤本 実, 藤田直生, 寺田 努, 塚本昌彦: Lighting Choreographer: ウェアラブル LED パフォーマンスシステムの設計と実装, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 3, pp. 517–525 (Sep. 2011).

[18] 大村一樹, 大西鮎美, 寺田 努, 塚本昌彦: 装着型 LED アレイを用いたベクション誘発手法の提案と評価, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2022-HCI-197, No. 5, pp. 1–8 (Mar. 2022).

[19] 満仲 望, 土田修平, 寺田 努, 塚本昌彦, 柳沢 豊: 過去の走行を再現するように光る LED テープを利用した短距離走練習方法, 情報処理学会マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム *(DICOMO 2014)* 論文集, Vol. 2020, pp. 581–587 (June 2020).

[20] N. Matsui, A. Ohnishi, T. Terada, and M. Tsukamoto: Color-Path: Hair Arrangement Reproduction Support System by Displaying Target Motion in AR, *Proc. of the 2022 IEEE 46th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)*, pp. 608–613 (Aug. 2022).

[21] C. Lugaresi, J. Tang, H. Nash, C. McClanahan, E. Uboweja, M. Hays, F. Zhang, C.-L. Chang, M. Yong, J. Lee *et al.*: Mediapipe: A Framework for Perceiving and Processing Reality, *Proc. of the third workshop on computer vision for AR/VR at IEEE computer vision and pattern recognition (CVPR)*, Vol. 2019, pp. 1–4 (June 2019).

[22] S. Utsumi, A. Ohnishi, T. Terada, and M. Tsukamoto: A Wearable Device That Makes You Blink When You Should Blink, *Proc. of the 2022 ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC '22)*, pp. 69–73 (Sep. 2022).

[23] D. Mehra and A. Galor: Digital Screen Use and Dry Eye: A Review, *The Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, Vol. 9, No. 6, pp. 491–497 (Nov. 2020).

[24] J. W. A. Ang and G. W. Maus: Boosted Visual Performance after Eye Blinks, *Journal of Vision*, Vol. 20, No. 10, pp. 1–9 (Oct. 2020).

[25] 金 宏潤, 土田修平, 寺田 努, 塚本昌彦: 慣性センサを用いた空手の予備動作の検出手法, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2022-HCI-197, No. 25, pp. 1–8 (Mar. 2022).

[26] 藤田直樹, 寺田 努, 塚本昌彦: 一体感の創出に向けた他者の生体情報フィードバックによる集団の生体情報の分散減少手法, 情報処理学会マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム *(DICOMO 2022)* 論文集, Vol. 2022, pp. 1163–1170 (July 2022).

[27] 中村憲史, 片山拓也, 寺田 努, 塚本昌彦: 虚偽情報フィードバックを用いた生体情報の制御手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 4, pp. 1433–1441 (Apr. 2013).

© 2023 Information Processing Society of Japan