

機械システム調査開発  
26-D-4

# 4K 映像に関する戦略策定 報 告 書

平成 27 年 3 月

一般財団法人 機械システム振興協会

委託先 一般財団法人 デジタルコンテンツ協会



## 序

現在、我が国ではデフレ経済から成長経済への移行を目指す様々な試みが進められていますが、その動きをより強固なものにするには、長年培ってきた多種多様な技術革新の芽を大きく育てる仕組み、即ち具体的な戦略づくりが必要であります。

一般財団法人機械システム振興協会（以下、「協会」という。）では、平成 26 年度から調査開発事業の中核として「イノベーション戦略策定事業」を、外部組織の皆様とともに始めました。

本事業の目的は、機械システムによる新たな社会変革を目指す革新的・先進的技術を基にした戦略づくり、きっかけづくりであります。このため関連する複数の分野の関係者が一同に会して議論を行い、現状の問題点や課題を検討・整理し、実現すべきシステムの姿及びその実現方策・道筋等を策定するものです。

「4 K映像に関する戦略策定」は、上記事業の一環として、そもそも 4 K の特性は何であり、どのように産業応用、展開されるのかといった 4 K の魅力の再構築を目指して、一般財団法人デジタルコンテンツ協会に委託して実施し、多様な分野の関係者とともに協会も参加して議論・検討を行いました。また、協会に「機械システム開発委員会」（委員長：政策研究大学院大学名誉教授 藤正 巖氏）を設置し、そのご指導・ご助言を受けました。

この成果が、機械システムによる新たな社会変革が進展されるきっかけとなれば幸いです。

平成 27 年 3 月

一般財団法人機械システム振興協会



## はじめに

本報告書は、一般財団法人デジタルコンテンツ協会が、一般財団法人機械システム振興協会から平成 26 年度事業として受託した「4K 映像に関する戦略策定」の成果をまとめたものである。

昨今の映像文化を取り巻く環境の変化の一つはカジュアル化である。デジタル技術とインターネットの利用によって、スマートフォンなどを使って誰もが簡単に映像を撮影でき、しかも収録映像をその場でインターネットに転送することで、世界中の人と共有できるようになった。もう一つの変化は映像表現品質の高度化である。CG や VFX（ビジュアル・エフェクツ）の効果により、ハリウッド映画に代表されるように、クリエイターのイマジネーションがそのままリアルに映像として描き出されるようになった。更には HMD（ヘッドマウントディスプレイ）のような新しい映像表示装置が普及し、PC の高速画像処理機能も相まって、今まで見たことのない、極めてリアルな映像体験が次々に可能になりつつある。

こうした状況の中で、映像方式も進化しようとしている。その一つが高解像度化である。現在テレビ放送やブルーレイディスクなどで利用されている HD（ハイビジョン）の約 4 倍の解像度を持つ 4K 映像は、コンテンツ制作環境が徐々に整いつつあり、既に一般社団法人次世代放送推進フォーラム (NexTV-Forum) による試験放送“Channel 4K”がスタートした。電気店には多くの家庭用 4K テレビが並ぶ。このように 4K は次世代のテレビ放送方式として注目を集め、8K を含め映像技術の進化の既定路線として普及の道を歩み出しているが、果たして我々は 4K 映像についてどこまでその特徴を把握しているだろうか。HD と比較して 4K はどういう特性を持ち、そのことがもたらす可能性はどのようなものだろうか。本事業はこうした疑問からスタートしている。

本事業の実施にあたり、ご指導、ご支援をいただいた関係機関、企業の各位に感謝の意を表します。

平成 27 年 3 月

一般財団法人デジタルコンテンツ協会

## 目 次

序

はじめに

1 事業の目的 .....	1
2 事業の実施体制 .....	2
3 事業の内容 .....	5
第1章 WG1（4K映像の特徴に関する調査） .....	6
1.1 WG1活動概要.....	6
1.1.1 実験の概要.....	6
1.1.2 予備実験 .....	6
1.1.3 刺激選定 .....	13
1.1.4 刺激のFFT分析.....	14
1.2 実験1 趣旨と概要 .....	18
1.2.1 目的.....	18
1.2.2 実験方法 .....	18
1.3 実験1 結果と分析 .....	21
1.3.1 一対比較 .....	21
1.3.2 アンケート解析 .....	23
1.3.3 考察.....	41
1.4 実験2 趣旨と概要 .....	49
1.4.1 目的.....	49
1.4.2 実験方法 .....	49
1.5 実験2 結果と分析 .....	52
1.5.1 輻輳運動と調節 .....	52
1.5.2 考察.....	54
1.6 WG1総括.....	55
第2章 WG2（4Kによる産業領域拡大に関する調査） .....	57
2.1 調査に関する検討要素、概要 .....	57
2.1.1 調査先設定及び調査内容.....	57
2.2 調査結果と戦略的要素分析.....	59
2.2.1 教育.....	59
2.2.2 博物館・美術館 .....	62
2.2.3 セキュリティ .....	64
2.2.4 産業.....	66
2.2.5 医療.....	70
2.2.6 WG2調査結果要点の整理.....	71
2.3 WG2総括.....	73

2.3.1	問題指摘と解決策	73
2.3.2	WG2としての提言	76
4	事業の成果（まとめ）	81
4.1	WG1及びWG2の結果の総括	81
4.2	戦略提言	83
5	事業の課題及び今後の展開	85
	[ 資料編 ]	86



## 1 事業の目的

4K は次世代のテレビ方式、映像方式として位置づけられるもので、現行のハイビジョン (HD) に比較して画素数は 4 倍、更にフレームレートも増え、表現できる色域も拡大する。このように 4K 映像は HD 映像よりもきめ細かく、綺麗でリアルな映像を表現できる仕様になっている。既に昨年 (平成 26 年) 6 月より次世代放送推進フォーラム (NexTV-Forum) が 4K 試験放送 (Channel 4K) を開始しており、電器店には家庭用 4K テレビが並び、4K コンテンツ制作環境も充実してきている。更には 2020 年の東京オリンピック・パラリンピック開催に向けて、経済効果をもたらす技術要素の一翼を担うものとして 4K 映像及び関連技術は、8K とともに脚光を浴びている状況である。

このように 4K というキーワードが徐々に世の中に浸透していく状況だが、4K 映像の特性については必ずしも明確に認識されているとはいえないのが実情である。「4K 映像は HD の縦横 2 倍の解像度があり、きめ細かで綺麗なので、その分画面に近づいて観ることができ、より高い臨場感を体感できる」というのがその訴求のポイントだが、実は 4K 映像と HD 映像をきちんと比較できる場を設定することは簡単ではなく、従ってそのような機会はほとんどない。

一方で 4K 映像は HD 映像に比較して優位な特性を持っていることは明確で、このことが単に映像表現の領域だけでなく、他の産業領域においても少なからぬ影響を及ぼすことは想像に難くない。

こうした状況に鑑み、本事業は、4K 映像が持つ本来の特性、ひいてはその魅力を HD との比較を軸に検証すると同時に、その特性を最大限に活かして様々な産業応用に資するための戦略を策定することを目的に、以下の二つの調査を実施した。

### 1) 4K 映像の特徴に関する調査

4K 映像と HD 映像とを被験者に観てもらった実証実験を通して、映像の特徴と被験者の心理的反応の相関を分析し、4K 映像の持つ特徴を解析する調査である。

### 2) 4K による産業領域拡大に関する調査

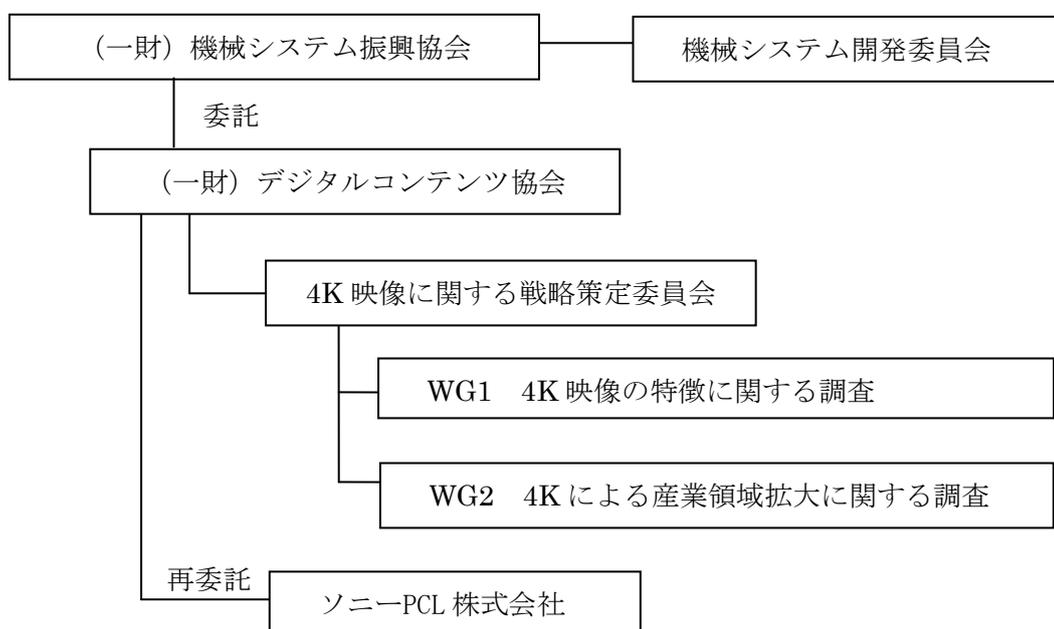
4K は映像コンテンツ以外に、例えば医療や監視セキュリティシステムなどの分野での応用展開が期待されており、実際に製品開発が進んでいる。そこで 4K の産業応用の側面に注目し、様々な取り組みの内容や課題についてヒアリングによる調査を行う。

以上の二つの調査で得られた成果を整理、分析、統合し、4K 映像に関する戦略、とりわけ 4K の産業応用展開に関する戦略を策定する。

## 2 事業の実施体制

一般財団法人 機械システム振興協会内に「機械システム開発委員会」を、一般財団法人デジタルコンテンツ協会内に、学識経験者、業界関係者からなる「4K 映像に関する戦略策定委員会」を設置し、更に「4K 映像の特徴に関する調査」を担当するワーキンググループ（以下WG）1と「4K による産業領域拡大に関する調査」を担当するWG 2を配置し、具体的な作業を行った。

また作業の一部の業務は、一般財団法人デジタルコンテンツ協会よりソニーPCL 株式会社に再委託を行った。



機械システム開発委員会 委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	政策研究大学院大学 名誉教授	藤 正 巖
委 員	東洋大学 総合情報学部 教授	大 場 善次郎
委 員	東京工業大学 ソリューション研究機構 特任教授	黒 川 浩 助
委 員	東京大学大学院 工学系研究科 教授	佐久間 一 郎

4K映像に関する戦略策定委員会 名簿

(順不同・敬称略)

委員長	東京眼鏡専門学校 校長	畑田 豊彦
副委員長	早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 教授	河合 隆史
WG1 委員	エルゴデザイン研究所 代表	窪田 悟
WG1 委員	早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 助手	金 相賢
WG2 委員	日本大学 生産工学部 数理情報工学科 講師	杉沼 浩司
WG2 委員	(株)映像新聞社 社長	小林 直樹
WG2 委員	(公財)画像情報教育振興協会 事務局長	宮井 あゆみ
WG2 委員	(株)ニューメディア 月刊ニューメディア編集部	古山 智恵
オブザーバ	凸版印刷株式会社 総合研究所 基盤技術研究所	小黒 久史
オブザーバ	ソニーPCL株式会社 クリエイティブ事業部 部長	手島 直樹
オブザーバ	早稲田大学 基幹理工学部 表現工学科 B4	板橋 智也
オブザーバ	早稲田大学 基幹理工学部 表現工学科 B4	西部 杏奈
オブザーバ	早稲田大学 国際情報通信研究科 M2	劉 政涛
オブザーバ	(一財)機械システム振興協会 専務理事	樋口 正治
オブザーバ	(一財)機械システム振興協会 理事 技術統括役	水上 淳二
オブザーバ	(一財)機械システム振興協会 調査開発部	中尾 宏子
事務局	(一財)デジタルコンテンツ協会 専務理事	市原 健介
事務局	(一財)デジタルコンテンツ協会 技術部 部長	熊谷 隆夫
事務局	(一財)デジタルコンテンツ協会 技術部 部長代理	須藤 智明
事務局	(一財)デジタルコンテンツ協会 技術部 主任	中村 雅子

### 3 事業の内容

事業の目的で述べたように、以下の二つの項目について調査を進めた。

(1) 4K 映像の特徴に関する調査 (WG1 が担当)

被験者に映像、画像を呈示する実験を実施し、2K (HD) との比較を通して 4K 映像の持つ特徴を解析する調査である。映像視聴による心理効果は、映像コンテンツの内容以外に、解像度、フレームレート、色域などの映像仕様や、表示装置特性、画面サイズ、視距離などの視聴環境に関わる様々な要因が影響すると考えられるが、ここでは解像度の差異に着目し、他の要因は可能な限り固定して実験を実施した。得られた実験結果を分析し、4K の特徴に関する知見を導き出した。

(2) 4K による産業領域拡大に関する調査 (WG2 が担当)

4K は映画、TV 放送を含む映像産業以外にも、以下のような分野での応用が期待されている。

- ・ 美術館や博物館
- ・ 医療
- ・ 教育、研修、訓練
- ・ デジタルサイネージ
- ・ セキュリティ、監視システム
- ・ アミューズメント施設
- ・ シミュレータシステム

そこでこれらの分野からいくつかの企業や団体をヒアリング調査先として選定し、4K に関連する取り組みの実態や期待感、課題認識などを調査した。

以上の二つの WG の活動成果を委員会にて整理、分析し、4K の特徴にはどのようなものがあり、その特徴を様々な産業分野でどのように活かしていくべきか、という視点から戦略提言を策定した。

なお本稿では、一部で映像に関わる専門的な内容を扱っていることから、その基本となる解像度に関連する事項について巻末の資料編に簡単な解説を掲載している。必要に応じて参照いただきたい。また引用文献及び専門用語の解説は各章の最後に掲載している。

## 第1章 WG1（4K映像の特徴に関する調査）

### 1.1 WG1 活動概要

WG1 は 4K 映像が持つ特徴を 2K（HD）映像との比較を通して解析するための実験を行った。具体的には 4K の高精細さが観察者の能動的な心理や臨場感等の感じ方に与える影響について、心理及び生理指標を用いて人間工学的評価を行う実験を実施した。

なお、後述するように WG1 の実験では静止画と動画を扱ったが、本稿ではこの両者を指すときは「映像」と表現し、主に静止画については「画像」と表現している。

#### 1.1.1 実験の概要

実験は予備実験、実験 1、実験 2 で構成される。予備実験では基礎的な検証を通して分析手法の有効性を確認し、同時に刺激選定の知見を得ることを目的とした。なお、本稿における「刺激」とは、被験者に働きかけて、心理や感覚の反応を起こさせるためのもので、今回の実験では被験者に呈示する映像のことを指す。実験 1 では、4K 映像による心理的影響を調べることを目的とし、実験 2 は 4K 映像観察時の視機能への影響を調べるために実施した。

#### 1.1.2 予備実験

##### (1) 目的

既述のように予備実験は、4K 映像が与える心理的影響に関する基本的な検証を実施し、その結果の分析を行うことで手法の有効性を確認すると同時に、実験刺激に関わる知見を得た上で、実験 1・2 で使用する刺激を選定することを目的に実施した。

##### (2) 実験方法

###### (a) 実験環境

実験は、画面への映り込みを避けるため暗室で行った。刺激呈示には 20 型のタフパッド（パナソニック製 4K UT-MB5、図 1.1.2-1）を使用した。4K UT-MB5 は 20 型の液晶パネルで、解像度 3840×2560 ドット、アスペクト比 15:10、画素密度 230ppi のスペックで 4K 表示を実現している。



図 1.1.2-1 パナソニック製 タフパッド 4K UT-MB5

被験者の観察位置は4Kの標準視距離である1.5H(35.5cm、Hは4K画面の高さを指す)に設定し、観察時において頭部の動きが実験結果に影響を与えないよう、顎台を用いて被験者の姿勢を固定した。図 1.1.2-2 はその様子を示す。



図 1.1.2-2 予備実験風景

#### (b) 呈示刺激

今回の一連の実験は4Kと2K(HD)の比較を基本とするが、両者を可能な限り同じ条件で比較するために

- ・同一のディスプレイ装置を使って4Kと2Kを表示することにより複数のディスプレイを使用することに起因する表示品質の差異要因をなくすこと
- ・4Kディスプレイ上で2K画質の呈示を実現するため、2K画質相当の4Kデータを準備すること

を行った。

2K画質相当の4Kデータは、4Kのオリジナルデータをバイキュービック法で2Kサイズ(1920×1080pixel)に縮小した後、ニアレストネイバー法を用いて4Kサイズに再び拡大することで作成した。バイキュービック法は、周囲16ピクセルを用いて補間後のピクセルの値を計算する手法であり、ニアレストネイバー法は、最も近い画素の値をそのまま補間後のピクセルの値として使用する手法である<sup>1</sup>。

呈示刺激はインターネット上に公開されている4K以上の解像度を持つ画像データの中から、解像度の違いによる選好への影響が出やすい画像を12枚選定した。画像の内容は、広めで細かいものが映っている風景画像2枚、細かい情報が多く解像感が分かる室内の画像2枚、男性と女性の人物画像2枚、フルーツや植物の画像2枚、質感を感じるCG画像1枚、蝶が写っている画像1枚、躍動感あるスポーツシーンの画像2枚である。表 1.1.2-1

に画像の内容を記載する。

表 1.1.2-1 予備実験の刺激画像の内容

画像 No.	内容
1	風景、ヨットハーバー、上半分が青い空
2	風景、溪谷、中心部に緑地
3	室内、図書館、きめ細かい描写
4	植物、光沢のあるテーブルの上のフルーツと花
5	人物、金管楽器を演奏する老人の男性
6	人物、女性のバストアップ画像、野外
7	植物、向日葵のアップ
8	CG、光沢のある自動車
9	室内、豪華絢爛なオペラハウスの内部
10	生物、猫じゃらしの先端に止まる 2 匹の蝶
11	躍動感ある画像、ロードバイクに乗る女性
12	躍動感ある画像、滝をカヤックで下る男性

選定した画像はすべて 4K (3840×2560pixel) に切り取ってサイズを揃えた後、既述した方法で「2K 画質相当の 4K データ」を作成した。なお、この実験では純粋な 2K (HD) データは一切扱っていないことから、本稿では以降「2K 画質相当の 4K」のことを 2K と表記し、オリジナルの 4K と区別する。

### (c) 評価手法

評価手法として、一対比較とインタビューを用いた。インタビューなどの質的データは、客観的に解釈する手法が少なく、データに信頼性を付与することが困難である。そのため、質的データを一対比較などの尺度構成法と併せて考察を行うことで、信頼性を持たせることとした。一対比較においては 7 件法を用いて、比較する二つの刺激を対象に好ましい方を選択させ、好ましさの度合いを「非常に」、「かなり」、「やや」の中で選択させた。どちらか一方を選択することができない場合は、「どちらでもない」を選択させるようにした。また今回評価グリッド法を用いたが、これはパーソナルインタビューで用いられることの多い手法の一つである。具体的には、人間が「何を知覚して」、それに対して「どのような理解をし」、そこに「どのような価値を見出しているか」を明らかにすることで、その人の評価構造を明らかにし、視覚化することができる<sup>2</sup>。本実験では、一対比較で好ましいと選択した理由について、この手法を用いた。具体的には、「好ましさ」の理由を答えさせ、それをその人の「好ましさ」を構成する主要因とした。そして、主要因に関する上位の「感覚的要因」と下位の「物理的要因」について聞き取り調査を行った<sup>3</sup>。また、本実験の目的である 4K の高精細さが観察者の能動的な心理及び臨場感などの感じ方に影響を与える可能性を明らかにするために、主要因として次の 5 項目の構造的質問の回答選択肢を用意し、

好ましいと選択した理由をこの中から自由選択させた。

- ・ 画像を拡大したくなる
- ・ 画像に近づきたい
- ・ 画像の質感・構造が分かる
- ・ 実物が目の前にあるように感じる
- ・ 画像に手を伸ばしたい

インタビューの最初に「この中に選択した理由があれば選んで下さい」と伝えた後、それらを選択した理由や知覚して見出した価値を明らかにし、構造モデルを作成した。

#### (d) 被験者及び実験手順

被験者は年齢 18 歳～24 歳の男女 16 名であった。被験者には実験の趣旨を説明したあと、参加への同意を得た。参加に先立ち、視力・色覚の検査を行った。次に、実験刺激の呈示を行った。同じ内容の 4K 画像と 2K 画像を用いて、1 回の試行でブランク 3 秒、一方の画像呈示 10 秒、ブランク 3 秒、もう一方の画像呈示 10 秒、ブランク 3 秒で呈示した。その後、好ましいと感じた方の画像を 7 件法にて選択させ、続いて構造的質問として「好ましいと選択した理由がこの中にあれば教えてください」と質問し、複数選択を可能とし自由に選択させた。その後、評価グリッド法によりインタビューを行った。また順序効果の有無を確認するため、被験者 1 人に対して 4K 画像と 2K 画像の順序を入れ替えた場合も行った。全 12 種類の画像について順序を入れ替えたものを組合せて計 24 回の試行を、すべてランダム化して実施した。被験者の負担を考え、12 試行終了時点で休憩を挟んだ。

### (3) 結果

一対比較の結果において統計学的分析（Wilcoxon の符号付順位和検定）を行った結果、画像 1、2、3、4、5、7 に関して 4K 画像が有意に好まれ ( $P<0.01$ )、画像 8、9、12 に関して 4K 画像が有意に好まれる傾向が見られた ( $P<0.10$ )。以上の結果より、全体の傾向として 4K 画像は 2K 画像と比較して選好されやすいことが分かった。また、画像の特徴により選好される度合いに違いが生じることが示唆されたため、一対比較の結果と画像の特徴を合わせて構造的質問の集計を行った。

構造的質問は好ましいと選択した画像に対して行ったため、4K を選択した場合と 2K を選択した場合とで分けて集計を行った。一対比較の結果より、1 パーセント水準で有意差が認められた画像 1、2、3、4、5、7 と 10 パーセント水準で有意傾向が認められた画像 8、9、12 と、有意差が認められなかった画像 6、10、11 にグループを分類し、グループの中で更に画像の特徴を抽出した。

(a) 有意差が認められた画像について (P<0.01)

4K が有意に好まれたため、4K を選択した場合のアンケート解析を行った。解析を行う前に、各画像の特徴を抽出したところ、二つのグループに分類した。画像 1、2、3 は景色（引きの画像）であり、光（快晴の空・外からの光）を感じられる。船や本や木といった細かい対象も多い。画像 4、5、7 は中心被写体があっさりとしていて奥行き感が少なく、アップの画像で構成されている。

① 画像 1、2、3 について

以下の図 1.1.2-3 は被験者が 4K を好ましいと感じる理由として選択したものを、画像 1、2、3 について合算して求めた比率をグラフにしたものである。以下同様である。

「画像を拡大したい」を選択したのが全体の 15%（17 人）、「画像に近づいてみたい」を選択したのが全体の 10%（12 人）、「画像の質感・構造が分かる」を選択したのが全体の 47%（55 人）、「実物が目の前のように感じる」を選択したのが全体の 18%（21 人）、「画像に手を伸ばしたくなる」を選択したのが全体の 5%（6 人）であった。この結果から、素材の質感・構造が分かることが選好に大きな影響を与えたことが分かる。

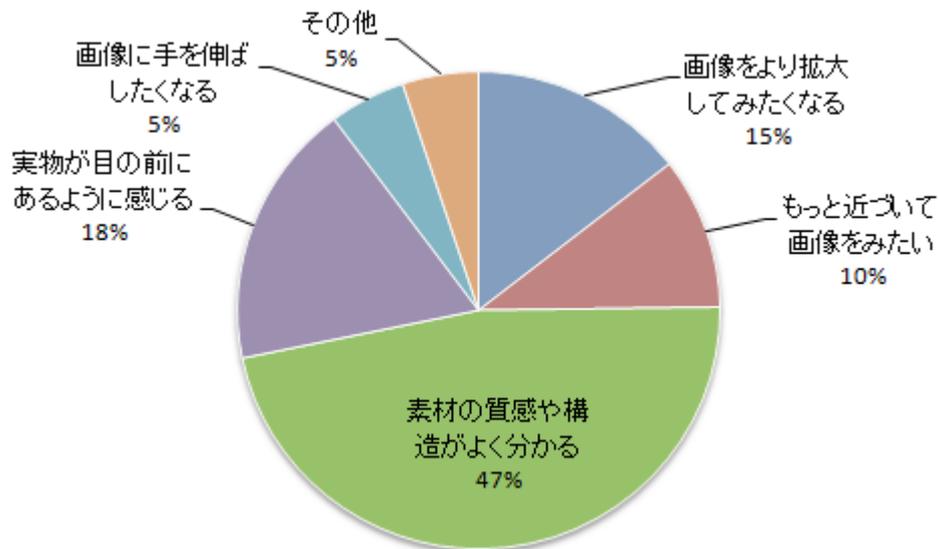


図 1.1.2-3 画像 1、2、3 のアンケート調査結果（4K 画像選択時）

② 画像 4、5、7 について

同様に画像 4、5、7 についてグラフ化した。（図 1.1.2-4）「画像を拡大したい」を選択したのが全体の 9%（17 人）、「画像に近づいてみたい」を選択したのが全体の 3%（3 人）、「画像の質感・構造が分かる」を選択したのが全体の 51%（41 人）、「実物が目の前のように感じる」を選択したのが全体の 22%（21 人）、「画像に手を伸ばしたくなる」を選択したのが全体の 11%（14 人）であった。

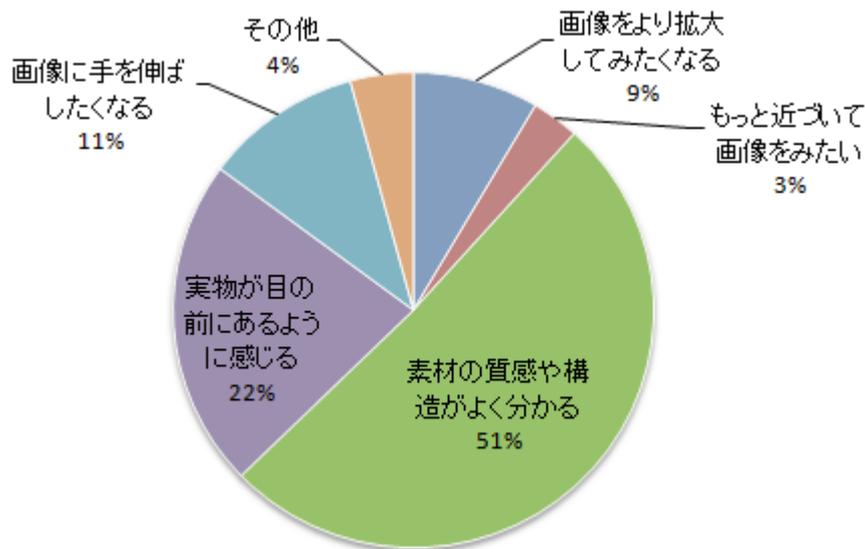


図 1.1.2-4 画像 4、5、7 のアンケート調査結果（4K 画像選択時）

(b) 有意に好まれる傾向が見られた 画像 8、9、12 について (P<0.10)

4K が有意に好まれる傾向が見られたため、4K を選択した場合のアンケート解析を行った。構造的質問の集計結果では、「画像を拡大したい」を選択したのが全体の 5%（3 人）、「画像に近づいてみたい」を選択したのが全体の 4%（2 人）、「画像の質感・構造が分かる」を選択したのが全体の 44%（24 人）、「実物が目の前にあるように感じる」を選択したのが全体の 24%（13 人）、「画像に手を伸ばしたくなる」を選択したのが全体の 6%（3 人）であった。

(c) 有意差が認められなかった画像について

① 画像 6 女性のバストアップ画像

7 件法の結果より、4K と 2K の選好に差が見られなかった。4K を選択した人のなかで、「画像の質感・構造が分かる」を選択したのが全体の 37%（7 人）で最も多く、「実物が目の前にあるように感じる」を選択したのが全体の 16%（3 人）であった。一方、2K を選択した場合も、「画像の質感・構造が分かる」を選択したのが全体の 59%（7 人）を占め一番多い結果となった。どちらも「質感が分かる」ことが選好に大きな影響を与えていることが分かった。また、その他の項目についても選択人数に有意差はなかった。このことから、女性の画像に関しては 4K と 2K で画像の質感や構造に好み分けられる可能性が示唆された。

② 画像 10, 11 について

いずれも「どちらでもない」を選択する被験者が多く、「違いが分からない」という意

見が他の刺激と比べて多く抽出された。これは、両画像ともフォーカスが正確に合っていないために、4Kと2Kの違いを知覚できなかったためと推察される。

#### (4) 考察

全体の傾向として、4Kは2Kと比較して選好されやすいことが分かった。インタビューの結果を評価グリッドにまとめたのが下図 1.1.2-5 である。下位概念として「細部まではっきり見える」、「質感・構造が分かる」、「明暗がはっきりして見える」ことが挙げられ、4Kの物理的要因として示唆された。これらの下位概念は、「リアル」、「奥行き感・立体感が分かる」、「手を伸ばしたい」、「拡大したい」などの中位概念に繋がり、更に上位概念である「その場にいるような感覚」、「興味」、「迫力」、「感動」という心理的要因に繋がっていることが分かった。

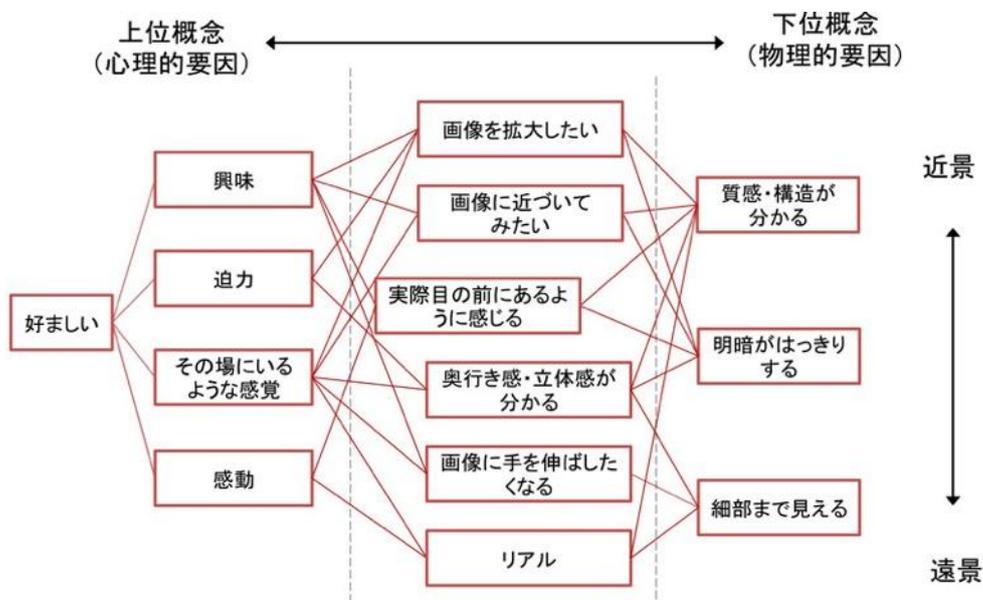


図 1.1.2-5 予備実験における評価グリッドの結果

女性の画像では 4K と 2K で好み分けられる可能性が示唆された。予備実験ではインターネット上からピックアップした画像を利用したため、肌がきれいに見えるように加工されていた可能性がある。よって、女性の画像については改めて検証を行うことにした。評価手法については、設定した構造的質問のすべての項目が好ましい理由として選択されたため、その有用性が示された。しかし、「質感・構造が分かる」という項目が、画像によっては「質感が分かる」と「構造が分かる」に分かれて選択されたことと、「立体感・奥行き感が分かる」という意見が多く抽出されたことから、実験 1 では質問項目の内容を修正することにした。

### 1.1.3 刺激選定

予備実験の結果を元に、近景の画像、遠景の画像、細かい対象が多く含まれた画像、被写体が女性である画像など全6種の刺激を用意した。また、実験1では、静止画だけでなく動画も使用することで、静止画と動画の比較も行うこととした。以下の図 1.1.3-1 から図 1.1.3-6 までは全刺激の静止画のイメージである。



図 1.1.3-1 「女性」  
(動画 30P : 手の動き)



図 1.1.3-2 「ペイント」  
(動画 30P : 動きなし)



図 1.1.3-3 「書架」  
(動画 60P : ズームイン)



図 1.1.3-4 「マッターホルン」  
(動画 60P : 画面下端の人物・車移動)



図 1.1.3-5 「東京スカイツリー」  
(動画 30P : 空撮、ゆっくり旋回)



図 1.1.3-6 「ヨットハーバー」  
(動画 30P : ゆっくりクレーンアップ)

焦点距離で分類すると、「女性」、「ペイント」は近景（被写体をクローズアップ撮影）、「書架」は中景、「マッターホルン」は手前の建物から奥のマッターホルンまでの中景～遠景、「東京スカイツリー」と「ヨットハーバー」は遠景に分類できる。

#### 1.1.4 刺激の FFT 分析

実験刺激に用いる画像の特徴を客観的に調査する手段として、高速フーリエ変換（Fast Fourier Transform、以下 FFT）を用いた。FFT とは、離散化されたフーリエ変換を高速に計算する手法のことで、音声や画像などの複雑な連続信号を、周期の異なる正弦波に分解することで、いわゆる周波数特性を得ることができる。また FFT を使った分析に一次元 FFT と二次元 FFT があり、今回の実験では両者を組み合わせて分析に利用した。

二次元 FFT は文字通り画像の特定領域を二次元空間として分析するもので、下図 1.1.4-1 のサンプルで示すように分析結果はパターンで表現される。

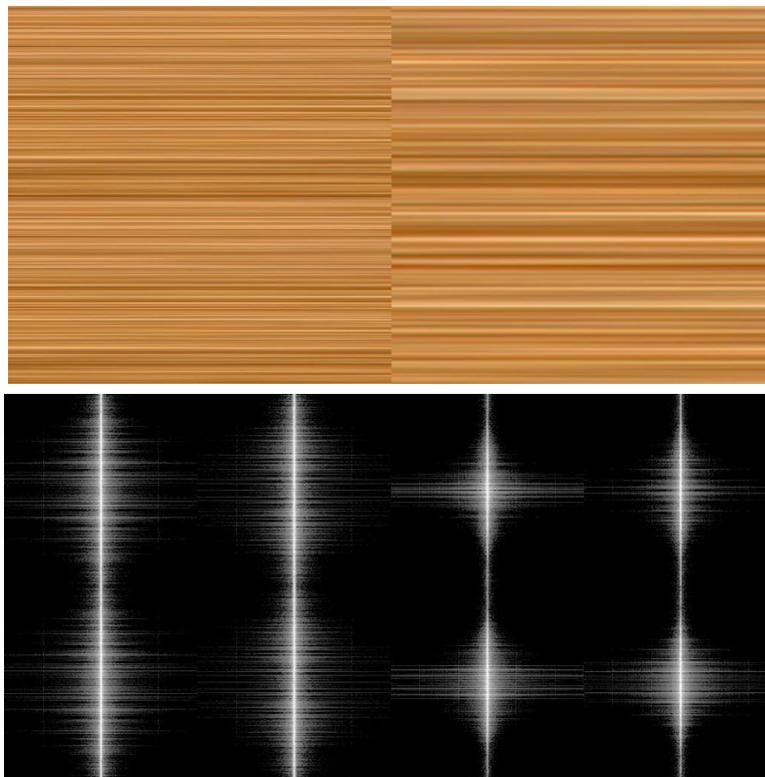


図 1.1.4-1 二次元 FFT の分析サンプル（上図カラー）と分析結果（下図白黒）  
（左半分は細かい横縞模様、右半分は粗い横縞模様）

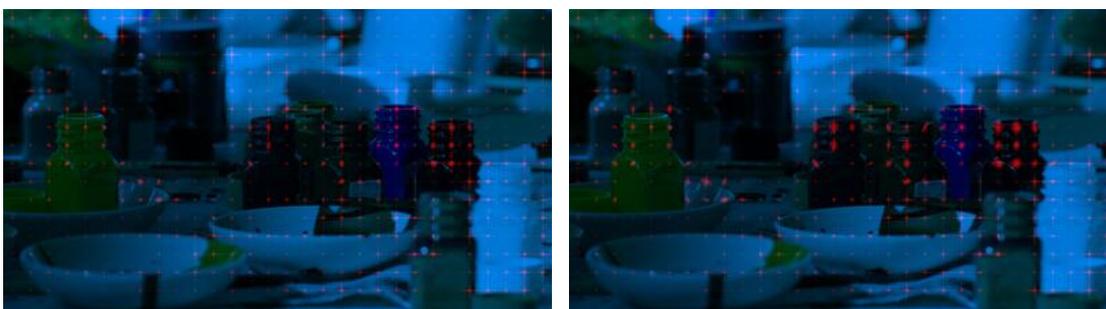
二次元 FFT では分析対象の画像を、あるサイズのブロックに分割しブロック単位で分析し結果を表示する。上図のサンプルでは左右の画像を各々 4 ブロックに分割して分析している。二次元 FFT の結果では、ブロックの中心が DC 成分（0Hz）であり、外に行くほど高い周波数となる。今回はトレンド除去（DC 成分と一次成分の除去）処理を加え、空のように一定の輝度の部分や、グラデーションの部分に、強い DC 成分や低周波成分を現れなくすることで、全体の傾向を分かりやすく視覚化した。上のサンプルは水平方向の縞模

様であるため、分析結果のパターンでは各ブロックの中心に垂直方向に大きな白い線が現れており、中心から上下に離れるほど高い周波数成分を表現している。また明るいほどその部分に相当する周波数成分が大きいことを示しており、それを分かりやすく視覚化するために左右に伸びるパターンで表現している。

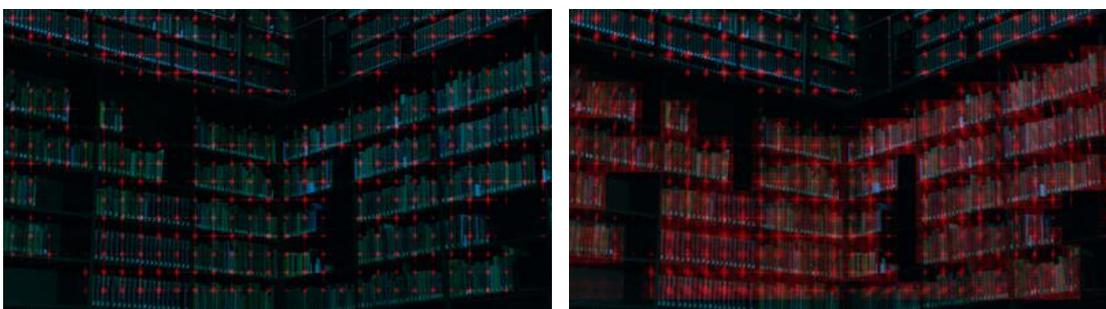
二次元 FFT の分析結果を原画像に重畳させることで、画像のどの領域がどのような周波数特性をもつかを直感的に表現できる。今回の実験刺激では 4K 画像を  $128 \times 128$  pixel のブロックに分割して FFT を行い、その結果を元画像データの赤チャンネルに入れ、赤チャンネルが目立つように緑チャンネルの輝度を半分程度に落とす処理を行った。こうして得られた全刺激の 2K と 4K それぞれの二次元 FFT の結果が以下の図 1.1.4-2 である。



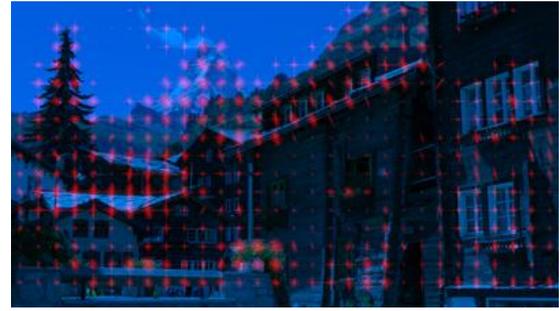
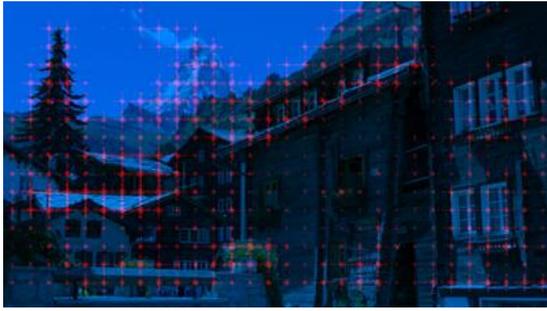
「女性」(左 : 2K、右 : 4K)



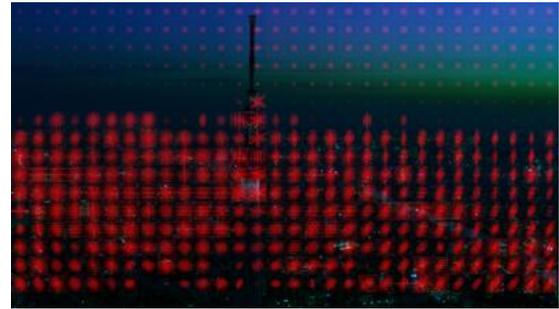
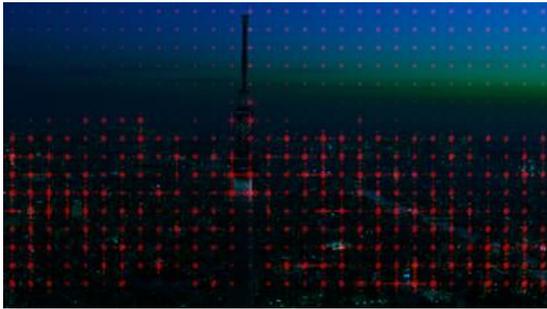
「ペイント」(左 : 2K、右 : 4K)



「書架」(左 : 2K、右 : 4K)



「マッターホルン」(左: 2K、右: 4K)



「東京スカイツリー」(左: 2K、右: 4K)



「ヨットハーバー」(左: 2K、右: 4K)

図 1.1.4-2 各刺激の二次元 FFT 結果

結果としてすべての刺激において 4K 画像の方が赤の占める割合が高く、高周波成分が多く含まれていることが分かる。今回の実験では、後述するように被験者が注視した箇所についてもデータをとったが、この注視箇所分布データと二次元 FFT の分析結果の関係性が直感的に理解できて有効である。

一方、一次元 FFT は画面上の横 1 行について FFT する方法である。実験に使用する 4K 画像の水平解像度は 3840pixel であるが、FFT を使用する際に用いることのできる整数 N の最大値は 2 の累乗である必要から  $N=2048$  となる。よって、画像の左側から 2048pixel 分のデータを用いて一次元 FFT 処理を行った。従ってこの FFT 分析において最も低周波にあたる正弦波は、2048pixel を 1 周期として輝度の濃淡が変化するものであり、最も高周波にあたる正弦波は 2pixel を 1 周期として濃淡が変化するものであると言える。

一次元 FFT の分析対象となる行は、被験者が申告した注視箇所のデータから作成した注

視箇所分布と上述の二次元 FFT の結果を照合しつつ、4K と 2K の差が現れていることと、より多くの被験者が視線を向けていたことを確認しながら選択した。

下図 1.1.4-3 は注視箇所分布の例である。多くの被験者が注視した箇所は、色が濃くなっている。



図 1.1.4-3 注視箇所分布の例（左：「女性」、右：「ペイント」）

続いて一次元 FFT の分析対象となる行の事例を下図 1.1.4-4 に示す。



「女性」(474 行目、1335 行目)

「ペイント」(928 行目、1257 行目)

図 1.1.4-4 一次元 FFT の分析対象行の一例

次に、一次元 FFT の結果をグラフ化したものを以下の図 1.1.4-5 に示す。縦軸は振幅スペクトル、横軸は画面上に表示される周波数成分 1 サイクルを 1.5H の視距離から見たときの視角 ( $^{\circ}$ ) である。グラフでは左に行くほど大きな視角になり大きな波（低い周波数）を表し、右に行くほど小さな視角となり小さな波（高い周波数）を表している。以下のグラフは 4K と 2K の結果を重ねて表示したもので、直感的に両者の周波数特性の違いを見ることができる。なお、すべての刺激の一次元 FFT の結果は 1.3.3 (P.41) を参照いただきたい。

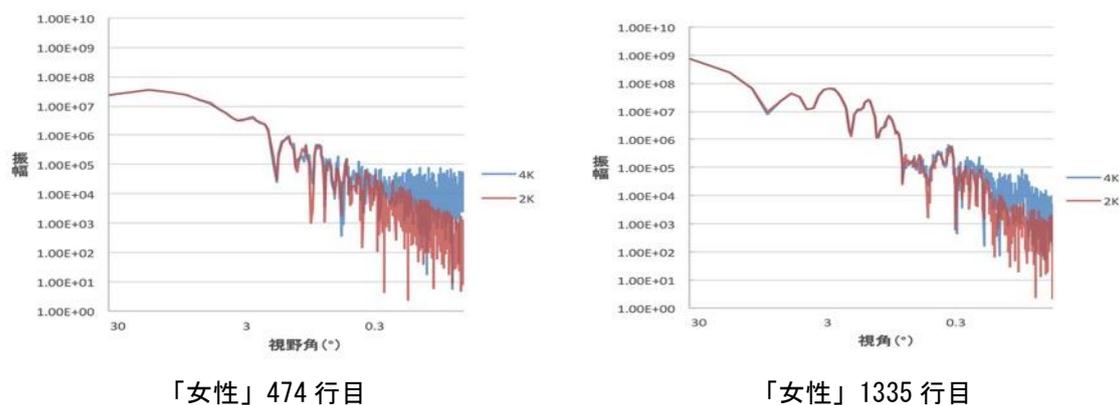


図 1.1.4-5 一次元 FFT の結果をグラフ化した例

予備実験で得られた以上の知見をもとに実験 1・2 を行った。

## 1.2 実験 1 趣旨と概要

以下実験 1 について記載する。

### 1.2.1 目的

実験 1 では、予備実験で選定した 6 種類の映像を用いて、4K が与える心理的影響をより詳しく分析した。また、実験 1 では静止画以外に動画についても解像度による影響を調べた。

### 1.2.2 実験方法

#### (1) 実験環境

予備実験と同様、画面への映り込みによる影響を軽減するため、実験は暗室で行った。刺激呈示には 65 型の 4K テレビ（ソニー製、ブラビア XBR-65X900A、図 1.2.2-1）を使用した。



図 1.2.2-1 4K テレビ SONY XBR-65X900A

観察位置は 4K の標準視距離である 1.5H (121cm) に設定した。(下図 1.2.2-2)

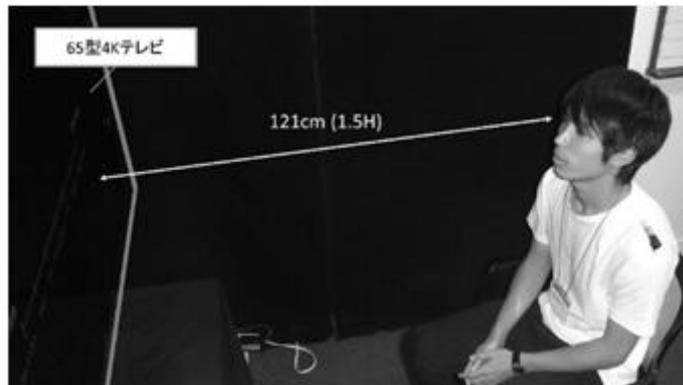


図 1.2.2-2 実験風景 (被験者)

下図 1.2.2-3 に実験の様子を示す。



図 1.2.2-3 実験風景

## (2) 実験刺激及び評価手法

全 6 種類の映像について静止画と動画の計 12 種類の刺激を用意した。刺激の呈示時間は 10 秒間とし、動画の場合は特徴的なカメラワークが含まれるよう選定した。評価手法としては予備実験と同様、一対比較を行ったのち、インタビューを行い、評価グリッドを作成した。構造的質問の回答選択肢としては、予備実験の結果を踏まえて中位概念から得られた項目を中心に以下の 7 項目に設定した。

1. 画像を拡大したい
2. 画像に近づきたい
3. 画像の質感が分かる
4. 画像の構造が分かる
5. 実物が目の前にあるように感じる
6. 立体感・奥行き感を感じる
7. 画像に手を伸ばしたい

上記のうち、1、2、7 は能動的な見方を想定した項目であり、3、4、5、6 は受動的な見方を想定した項目である。

## (3) 被験者及び実験手順

被験者は年齢 18 歳～24 歳の男女 20 名であった。実験手順は予備実験と同様に、まず被験者に実験の趣旨を説明した後、参加への同意を得た。参加に先立ち、視力・色覚の検査を行った。実験刺激は、4K と 2K をそれぞれ、3 秒間のブランクを挟んで 10 秒間提示した。その後、好ましいと感じたほうを 7 件法で選択させ、構造的質問をした上で、評価グリッド法に基づいてインタビューを行った。最後に、被験者の観察時における視線の分析を行うため、注視した箇所を、画像を印刷した紙に記入してもらった。これで 1 試行が終了する。

順序効果の有無を確認するため、被験者 1 人に対して 4K と 2K の順序を入れ替えて 2 回実験を行ったので、6 刺激で計 12 試行となり、これらをランダム化して呈示した。また、同一被験者について静止画の実験（12 試行）を行った後、別日に動画の実験（12 試行）を行った。

以上の実験手順を図 1.2.2-4 で示す。

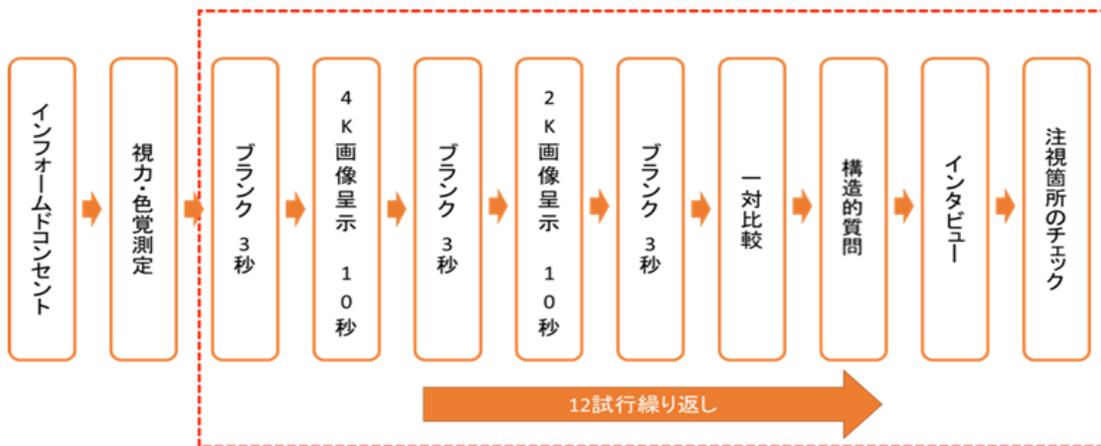
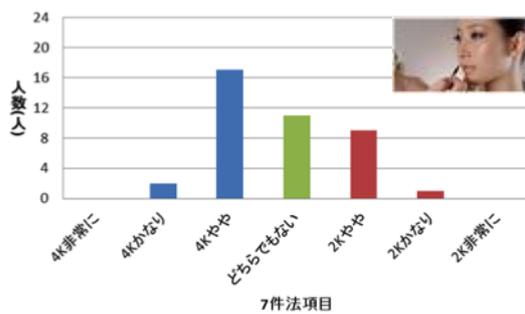


図 1.2.2-4 実験手順 (4K 画像を先に呈示した例)

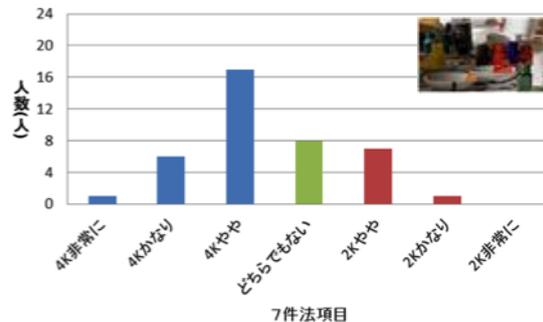
### 1.3 実験 1 結果と分析

#### 1.3.1 一対比較

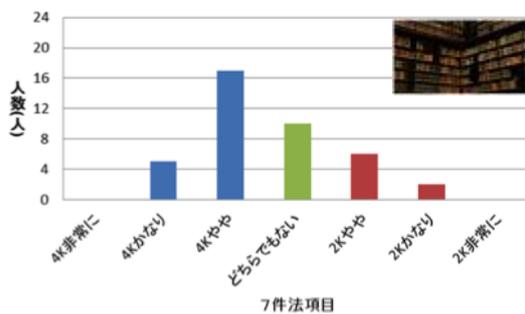
静止画と動画の 7 件法の結果を以下の図 1.1.3-1 及び図 1.1.3-2 に示す。Wilcoxon の符号付順位和検定を行った結果、「女性」の静止画を除いた 11 刺激に関して 4K が有意に好まれ ( $p < .05$ )、「女性」の静止画については、有意差が認められなかった。



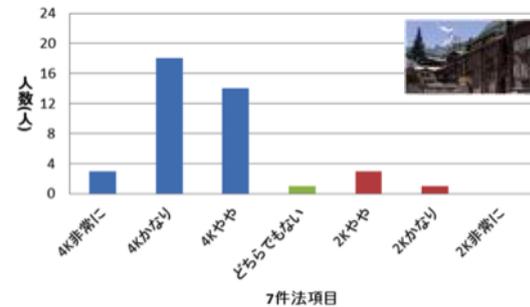
「女性」(静止画)



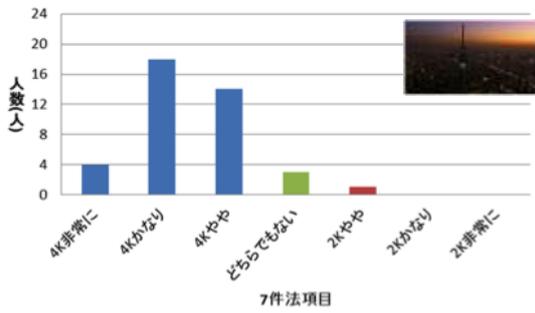
「ペイント」(静止画)



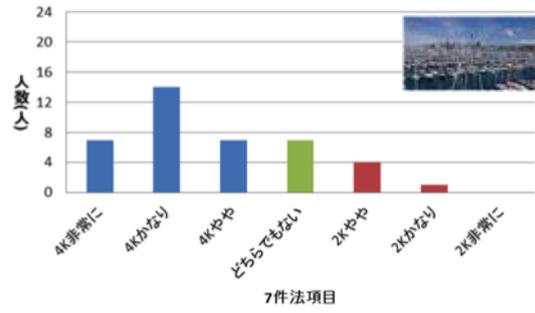
「書架」(静止画)



「マッターホルン」(静止画)

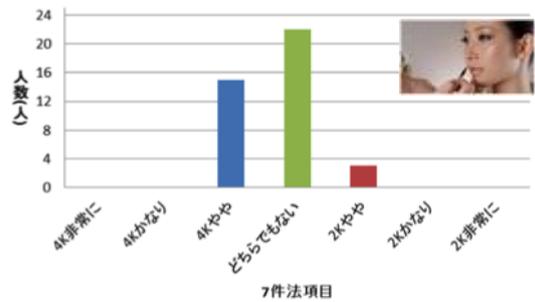


「東京スカイツリー」(静止画)

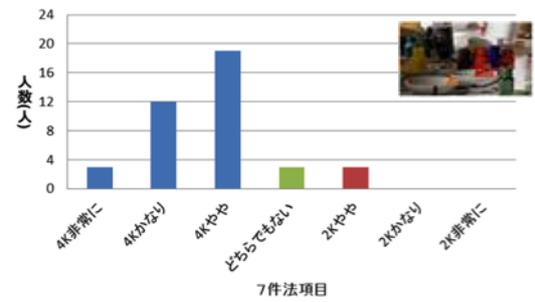


「ヨットハーバー」(静止画)

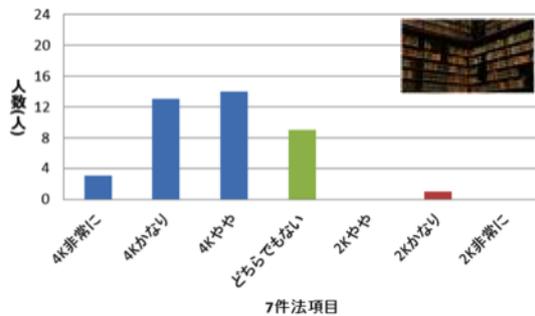
図 1.3.1-1 静止画の7件法結果



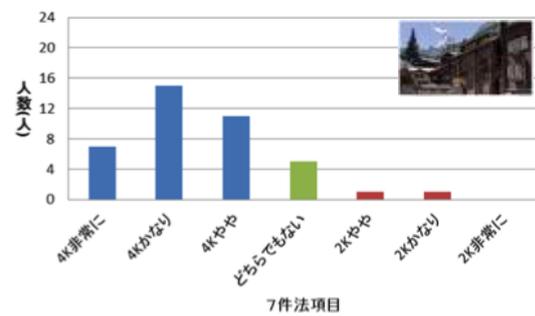
「女性」(動画)



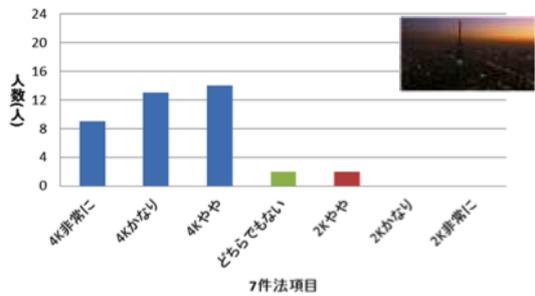
「ペイント」(動画)



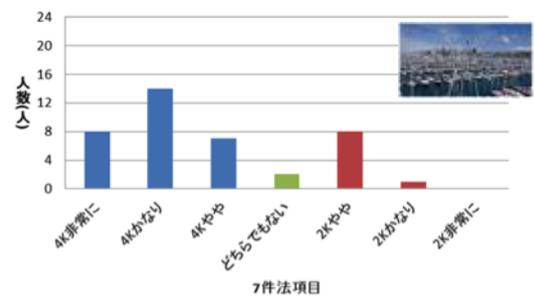
「書架」(動画)



「マッターホルン」(動画)



「東京スカイツリー」(動画)



「ヨットハーバー」(動画)

図 1.3.1-2 動画の7件法結果

### 1.3.2 アンケート解析

以降のアンケート調査結果の円グラフは、全被験者 20 名について、特定の刺激の静止画ないし動画を見て、4K または 2K が好ましいと回答した被験者が、その理由として自由に選択した項目をすべて集計し、項目別の割合を示したものである。

#### (1) 「女性」

静止画においては 4K と 2K の間に有意差が認められなかった。

まず、4K を選択した場合の構造的質問 (P.20、1.2.2 (2) 参照) の集計結果を以下の図 1.3.2-1 に示す。

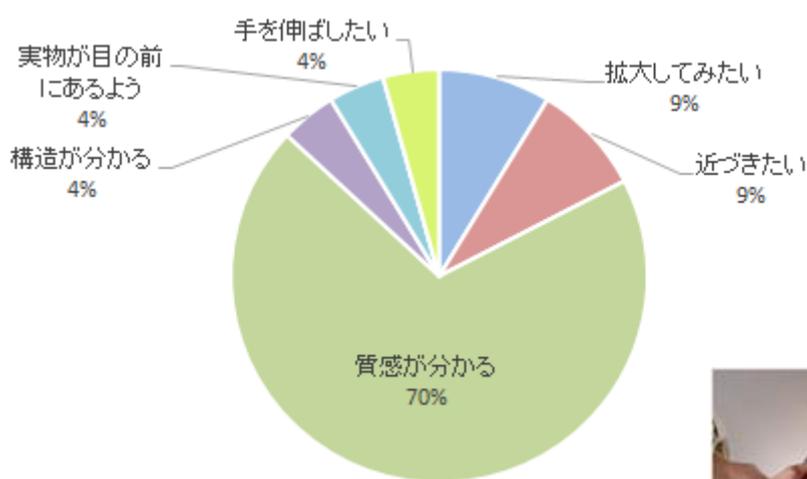


図 1.3.2-1 「女性」のアンケート調査結果 (4K 静止画選択時) (全回答数 23)

「画像を拡大したい」を選択したのが全体の 9% (2 人)、「画像に近づいてみたい」を選択したのが全体の 9% (2 人)、「画像の質感が分かる」を選択したのが全体の 70% (16 人)、「画像の構造が分かる」を選択したのが全体の 4% (1 人)「実物が目の前のように感じる」を選択したのが全体の 4% (1 人)、「画像に手を伸ばしたくなる」を選択したのが全体の 4% (1 人)であった。その他の選択理由としては、「心理的な距離の近さを感じる (6 人)」、「綺麗 (4 人)」、「面白い (4 人)」、「興味が湧く (2 人)」、「リアル (2 人)」、「はっきり・くっきり・鮮明 (2 人)」などが挙げられた。

評価グリッドの結果を以下の図 1.3.2-2 に示す。発言頻度を回数で表し、7 回以上をグレーで表す。

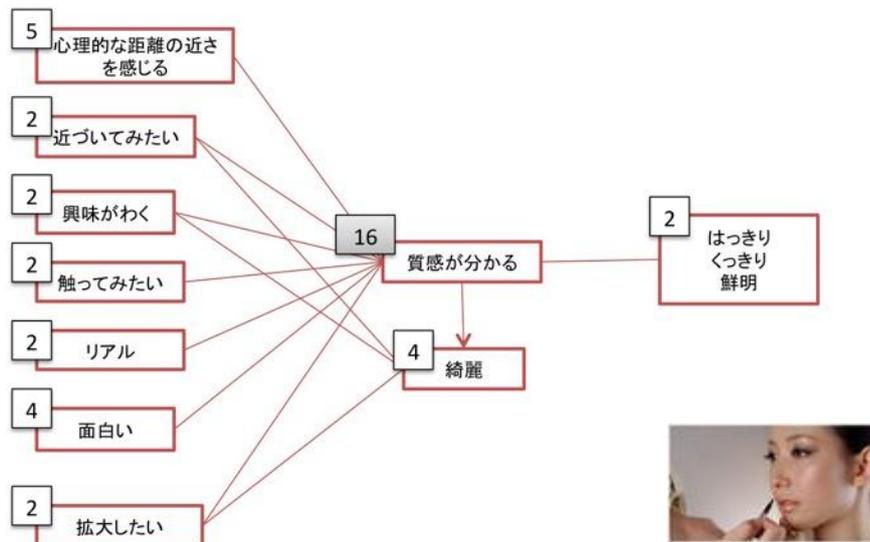


図 1.3.2-2 「女性」の評価グリッド結果（4K 静止画選択時）

構造的質問の集計結果と評価グリッドから、「質感が分かる」ことが、4K を選択した大きな要因であることが分かる。「質感が分かる」のは下位概念である「はっきり・くっきり・鮮明」に見えるからであり、質感が分かることで「心理的な距離の近さを感じる」、「近づいてみたい」、「興味が湧く」、「触ってみたい」、「リアル」、「面白い」、「拡大したい」などの上位概念に繋がっていることが分かった。

2K を好ましいと選択した人の選択理由としては、「4K と比較して眩しくない（2人）」、「写真にマッチしている（2人）」、「質感が好み（2人）」などが挙げられたが、構造的質問の選択肢7項目は一度も選択されなかった。

「どちらでもない」を選択した人数が11人と多い結果となったが、その理由は、「違いを感じなかった（10人）」、「どちらも嫌いじゃない（1人）」であり、予備実験と同様、「女性」の画像は4Kと2Kの差を知覚しづらい可能性が示唆された。

次に、動画に関して4Kを好ましいと選択した場合の構造的質問の集計結果を下図1.3.2-3に示す。

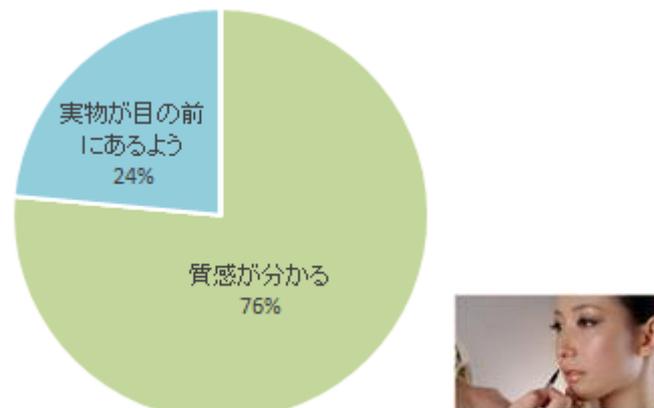


図 1.3.2-3 「女性」のアンケート調査結果（4K 動画選択時）（全回答数 14）

「質感が分かる」を選択したのが全体の 76% (13 人)、「実物が目の前にあるよう」を選択したのが全体の 24% (4 人)であった。その他の選択理由としては、「はっきり・くっきり・鮮明 (5 人)」、「実物を想像できる (3 人)」、「分かりやすい (2 人)」、「リアル (2 人)」などが挙げられた。

続いて、評価グリッドの結果を下図 1.3.2-4 に示す。7 回以上の発言をグレーで表す。

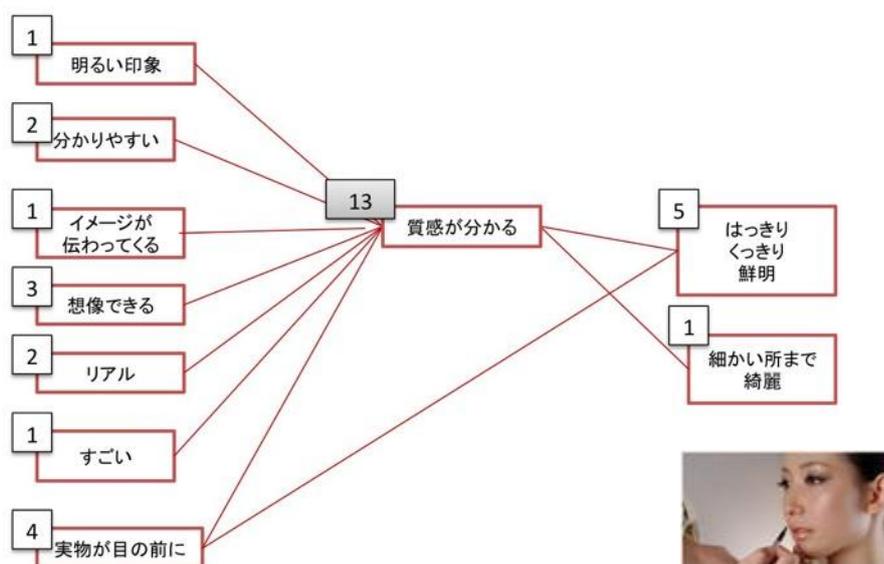


図 1.3.2-4 「女性」評価グリッド結果 (4K 動画選択時)

構造的質問の集計結果と評価グリッドから、「質感が分かる」が、4K を選択した大きな要因であることが分かる。「質感が分かる」のは下位概念である「はっきり・くっきり・鮮明」に見えるからであり、質感が分かることで「明るい印象」、「分かりやすい」、「イメージが伝わってくる」、「実物を想像できる」、「リアル」、「すごい」、「実物が目の前にあるよう」などの上位概念に繋がっていることが分かった。

2K を好ましいと選択した人の選択理由としては、「質感が好み (2 人)」、「4K と比較して眩しくない (1 人)」などが挙げられたが、構造的質問の選択肢は一度も選ばれなかった。

「どちらでもない」を選択した人数が 22 人と、静止画よりも多い結果となった。理由としては、「違いを感じなかった (19 人)」、「違いを感じたが大差はない (1 人)」、「4K が眩しいから (1 人)」、「4K が見えすぎるから (1 人)」が挙げられた。

4K を選択した場合と 2K を選択した場合とを Wilcoxon の符号付順位和検定で比較すると 4K の方が有意に好まれたが、「どちらでもない」の人数を考慮すると、動画の方が 4K と 2K の差を知覚しづらかったと言える。

## (2) 「ペイント」

静止画・動画ともに、4K が有意に好まれたため、4K を選択した場合の構造的質問の集計と評価グリッドの作成を行った。

まず静止画で 4K を好ましいとした場合の構造的質問の集計結果を下図 1.3.2-5 に示す。

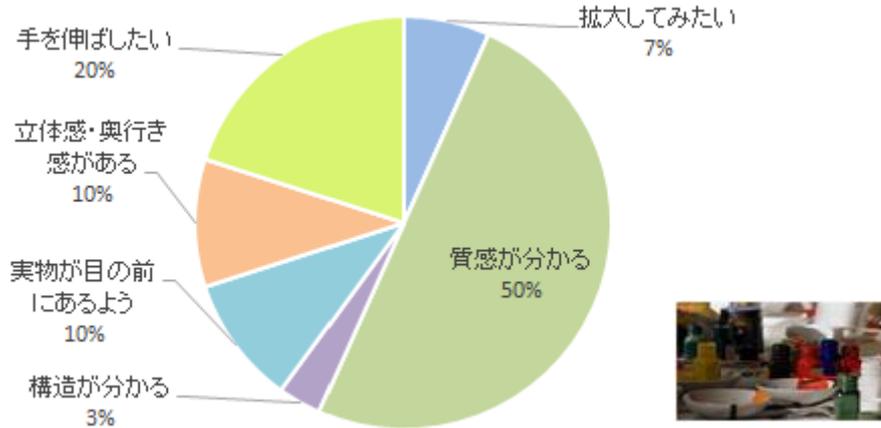


図 1.3.2-5 「ペイント」のアンケート調査結果 (4K 静止画選択時) (全回答数 30)

「画像を拡大したい」を選択したのが全体の 7% (2 人)、「画像の質感が分かる」を選択したのが全体の 50% (15 人)、「画像の構造が分かる」を選択したのが全体の 3% (1 人)。「実物が目の前のように感じる」を選択したのが全体の 10% (3 人)、「立体感・奥行き感を感じる」を選択したのが全体の 10% (3 人)、「画像に手を伸ばしたくなる」を選択したのが全体の 20% (6 人)であった。その他の選択理由としては、「綺麗 (7 人)」、「リアル (5 人)」、「はっきり・くっきり・鮮明 (4 人)」、「ずっと見ていたい (4 人)」、「色つやが分かる (4 人)」、「現実 (実物) 感がある (2 人)」などが挙げられた。

続いて、評価グリッドの結果を下図 1.3.2-6 に示す。7 回以上の発言をグレーで表す。

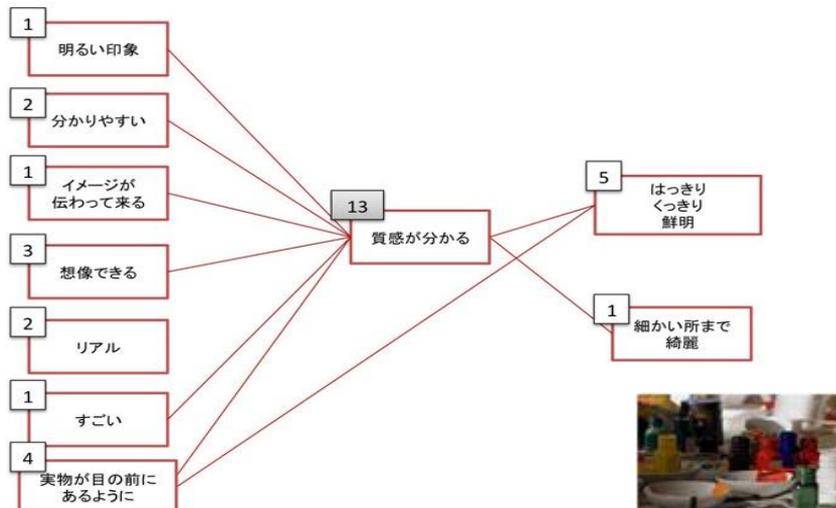


図 1.3.2-6 「ペイント」の評価グリッド結果 (4K 静止画選択時)

構造的質問の集計結果と評価グリッドから、「質感が分かる」が、4K を選択した大きな要因であることが分かる。「質感が分かる」のは下位概念である「はっきり・くっきり・鮮明」に見えるからであり、質感が分かることで「リアル」、「ずっと見ていたい」、「画像に手を伸ばしたい・触りたい」、「綺麗」などの上位概念に繋がっていることが分かった。

2K を好ましいと選択した人の選択理由としては、「鮮明である」、「ぼけていることによる加工感がある」、「やさしい感じがする」、「素朴」などが挙げられたが、構造的質問の選択肢は一度も選択されなかった。

次に、動画に関して、4K を好ましいと選択した場合の構造的質問の集計結果を下図 1.3.2-7 に示す。

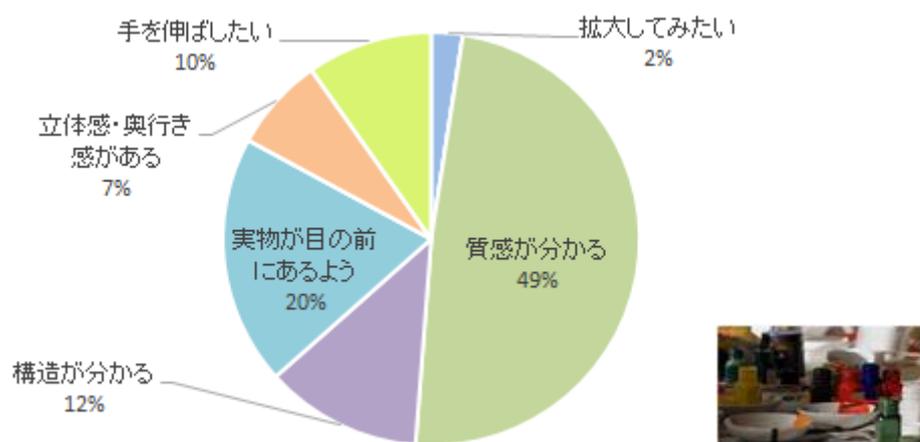


図 1.3.2-7 「ペイント」のアンケート調査結果（4K 動画選択時）（全回答数 41）

「画像を拡大したい」を選択したのが全体の 2%（1 人）、「画像の質感が分かる」を選択したのが全体の 49%（20 人）、「画像の構造が分かる」を選択したのが全体の 12%（5 人）「実物が目の前にあるように感じる」を選択したのが全体の 20%（8 人）、「立体感・奥行き感を感じる」を選択したのが全体の 7%（3 人）、「画像に手を伸ばしたくなる」を選択したのが全体の 10%（4 人）であった。その他の選択理由としては、「綺麗（7 人）」、「リアル（5 人）」、「分かりやすい（5 人）」、「実物（現実）感がある（5 人）」、「鮮明（はっきり・くっきり）（5 人）」、「フォーカスが合っている（4 人）」などが挙げられた。

続いて、評価グリッドの結果を下図 1.3.2-8 に示す。7 回以上の発言をグレーで表す。

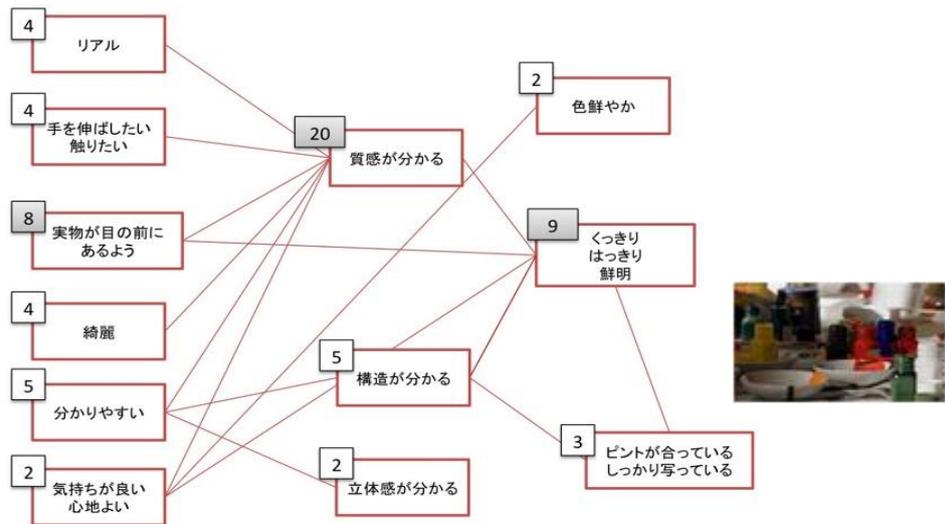


図 1.3.2-8 「ペイント」の評価グリッド結果（4K 動画選択時）

構造的質問の集計結果と評価グリッドから、「質感が分かる」ことが、4K を選択した大きな要因であることが分かる。「質感が分かる」のは下位概念である「くっきり・はっきり・鮮明」に見えるからであり、質感が分かることで「リアル」、「画像に手を伸ばしたい・触りたい」、「実物が目の前にあるように感じる」、「綺麗」、「分かりやすい」、「気持ちが良い・心地よい」のすべての上位概念に繋がっていることが分かった。

2K を選択した理由としては、「見やすい（2 人）」、「自然（1 人）」が挙げられたが、構造的質問の選択肢は選択されなかった。

### (3) 「書架」

静止画・動画ともに、4K が有意に好まれたため、4K を選択した場合の構造的質問の集計と評価グリッドの作成を行った。

まず静止画に関して、4K を好ましいと選択した場合の構造的質問の集計結果を以下の図 1.3.2-9 に示す。

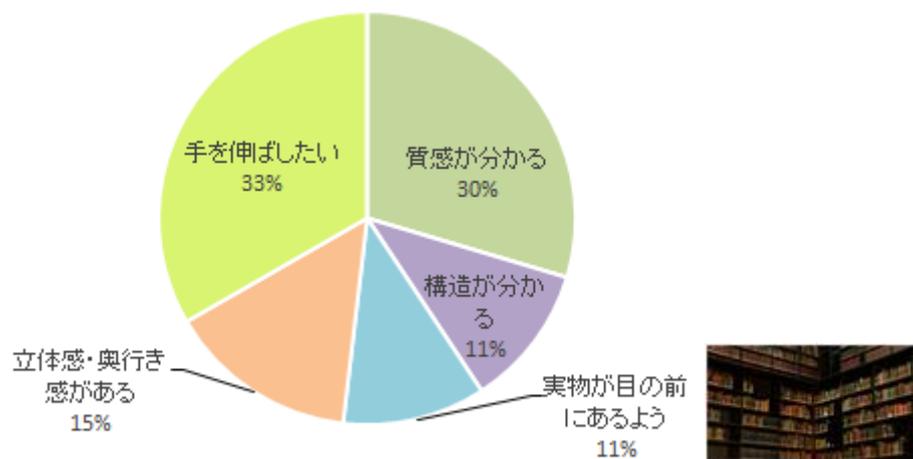


図 1.3.2-9 「書架」のアンケート調査結果（4K 静止画選択時）（全回答数 27）

「画像の質感が分かる」を選択したのが全体の 30% (8 人)、「画像の構造が分かる」を選択したのが全体の 11% (3 人)、「実物が目の前にあるように感じる」を選択したのが全体の 11% (3 人)、「立体感・奥行き感を感じる」を選択したのが全体の 15% (4 人)、「画像に手を伸ばしたくなる」を選択したのが全体の 33% (9 人)であった。その他の選択理由としては、「くっきり・はっきり・鮮明 (4 人)」、「分かりやすい (3 人)」、「興味が湧く (2 人)」、「リアル (2 人)」などが挙げられた。

続いて、評価グリッドの結果を下図 1.3.2-10 に示す。7 回以上の発言をグレーで表す。

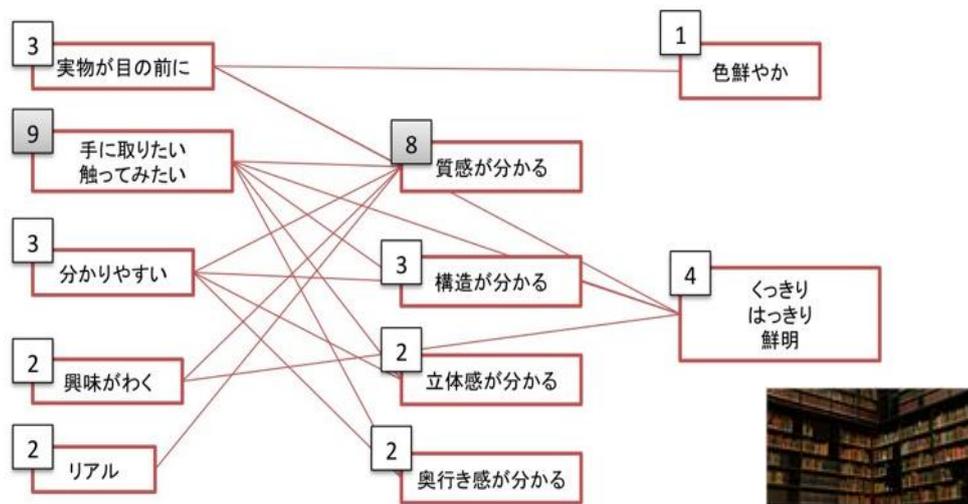


図 1.3.2-10 書架の評価グリッド結果 (4K 静止画選択時)

構造的質問の集計結果と評価グリッドから、「質感が分かる」が、4K を選択した大きな要因であることが分かる。「質感が分かる」ことで上位概念である「実物が目の前にある」、「手を取りたい・触ってみたい」、「分かりやすい」、「興味が湧く」、「リアル」に繋がっていることが分かった。

一方 2K を好ましいとした理由としては、構造的質問では、「奥行き感を感じる (3 人)」、「質感が分かる (2 人)」、「構造が分かる (2 人)」が選択された。その他の理由としては、「物々しい雰囲気が面白い (1 人)」、「自然 (1 人)」、「4K はくっきりしているのにピンボケしている部分があって気持ち悪い (1 人)」、「4K が綺麗すぎて合成みたい (1 人)」などが挙げられた。

「どちらでもない」を選択した人数は 10 人であった。理由としては、「違いを感じなかった (6 人)」、「どちらもぼやけていて好ましくない (2 人)」、「見るポイントがない (1 人)」、「4K がはっきり見えすぎて奥行き感が分からない (1 人)」となった。

次に、動画に関して、4K を好ましいと選択した場合の構造的質問の集計結果を図 1.3.2-11 に示す。

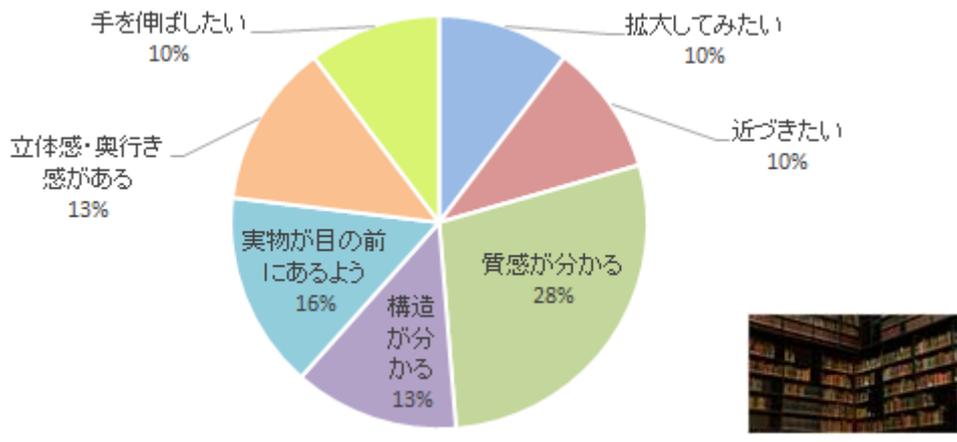


図 1.3.2-11 「書架」のアンケート調査結果 (4K 動画選択時) (全回答数 39)

「画像を拡大したい」を選択したのが全体の 10% (4 人)、「画像に近づきたい」を選択したのが全体の 10% (4 人)、「画像の質感が分かる」を選択したのが全体の 28% (11 人)、「画像の構造が分かる」を選択したのが全体の 13% (5 人)「実物が目の前のように感じる」を選択したのが全体の 16% (6 人)、「立体感・奥行き感を感じる」を選択したのが全体の 13% (5 人)、「画像に手を伸ばしたくなる」を選択したのが全体の 10% (4 人)であった。その他の選択理由としては、「くっきり・はっきり・鮮明 (15 人)」、「分かりやすい (5 人)」、「リアル (3 人)」、「フォーカスが合っている (3 人)」、「綺麗 (2 人)」、「面白い・楽しい (2 人)」、「迫力がある (2 人)」などが挙げられた。

続いて、評価グリッドの結果を下図 1.3.2-12 に示す。7 回以上の発言をグレーで表す。

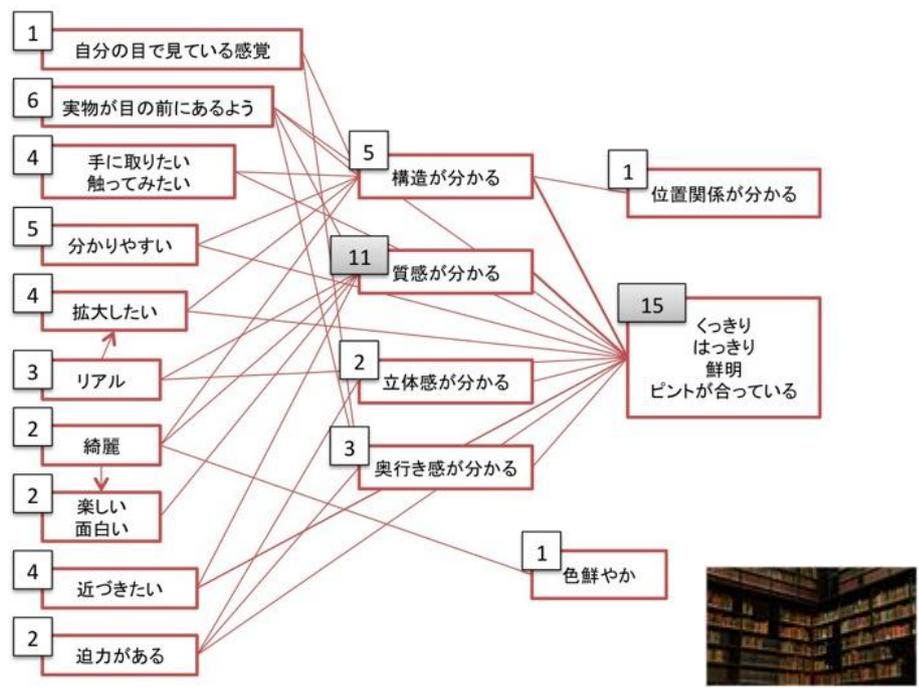


図 1.3.2-12 「書架」の評価グリッド結果 (4K 動画選択時)

構造的質問の集計と評価グリッドの結果より、画像における「くっきり・はっきり・鮮明」が、「質感が分かる」ことや、「構造が分かる」ことに影響を与え、好ましさに直接繋がる上位概念を形成していることが分かる。上位概念である「実物が目の前にある」、「その場で自分の目で見て感じる」という臨場感や、「手に取りたい・触ってみたい」、「拡大したい」という能動的な見方、「分かりやすい」、「リアル」、「綺麗」、「楽しい・面白い」、「近づきたい」、「迫力がある」という見方に繋がっていることが分かった。また、「くっきり・はっきり・鮮明」に見えることは、直接上位の概念に繋がっている結果も得られた。

2Kを好ましいと選択した理由は、「お化けが出てきそうなぞくぞくした雰囲気が良い(1人)」であり、構造的質問の選択肢は選ばれなかった。

「どちらでもない」を選択した人数は9人となった。理由としては、「違いを感じなかった(2人)」の他に、「どちらも圧迫感があった(2人)」、「どちらも好ましくない(1人)」、「ズームインのスピードが速すぎる(1人)」、「どちらもぼやけている(1人)」、「気持ち悪い(1人)」というようなコンテンツ自体が好ましくないという意見と、「違いを感じたがどちらでも良い(1人)」という結果が得られた。コンテンツ自体が好ましくないと答えた人数が6人と、静止画よりも多い結果となった。原因のひとつとしては、ズームインのスピードが考えられる。ズーム前とズーム後の画像を比較したものを下図1.3.2-13に示す。

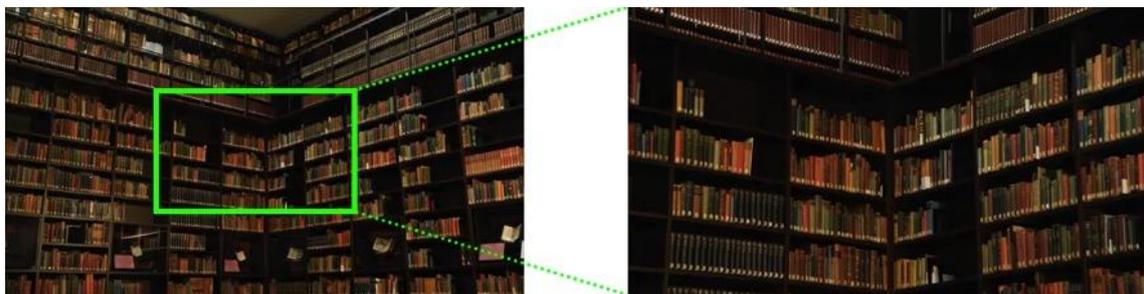


図 1.3.2-13 「書架」ズームイン前・後の比較

この10秒のズームインが被験者に圧迫感を与えたことが予想され、コンテンツ自体が好ましくないという意見に繋がったと考えられる。しかし、静止画と動画を比較すると、動画の方が4Kを好ましいと答えた人数が増え、上位概念も多く抽出されたため、ズームインの効果が魅力的なユーザ体験を生んだ可能性が示唆された。

#### (4) 「マッターホルン」

静止画・動画条件ともに、4Kが有意に好まれたため、4Kを選択した場合の構造的質問の集計と評価グリッドの作成を行った。

まず静止画に関して、4Kを好ましいと選択した場合の構造的質問の集計結果を図1.3.2-14に示す。

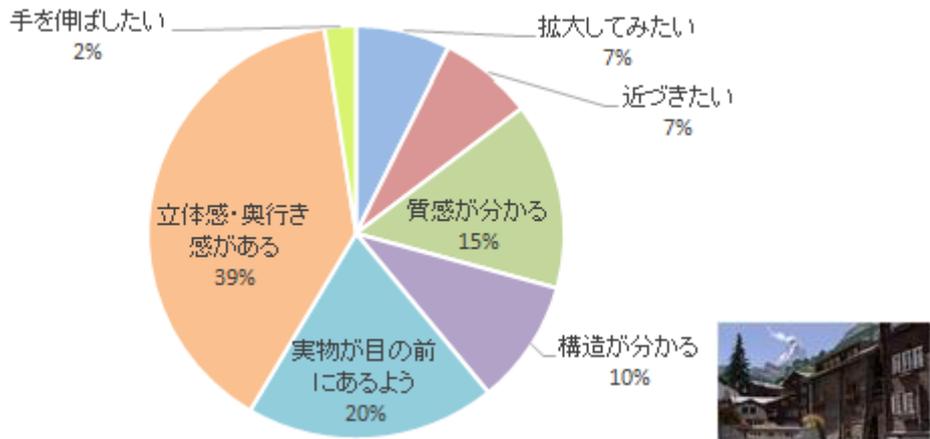


図 1.3.2-14 「マッターホルン」のアンケート調査結果 (4K 静止画選択時) (全回答数 41)

「画像を拡大したい」を選択したのが全体の 7% (3 人)、「画像に近づきたい」を選択したのが全体の 7% (3 人)、「画像の質感が分かる」を選択したのが全体の 15% (6 人)、「画像の構造が分かる」を選択したのが全体の 10% (4 人)、「実物が目の前にあるように感じる」を選択したのが全体の 20% (8 人)、「立体感・奥行き感を感じる」を選択したのが全体の 39% (16 人)、「画像に手を伸ばしたくなる」を選択したのが全体の 2% (1 人)であった。その他の選択理由としては、「はっきり・くっきり・鮮明 (14 人)」、「リアル (8 人)」、「綺麗 (6 人)」、「その場にいる・臨場感がある (4 人)」、「分かりやすい・実物が想像しやすい (4 人)」、「気持ちが良い (3 人)」、「ワクワクする (3 人)」、「迫力がある (2 人)」などが挙げられた。

続いて、評価グリッドの結果を下図 1.3.2-15 に示す。7 回以上の発言をグレーで表す。

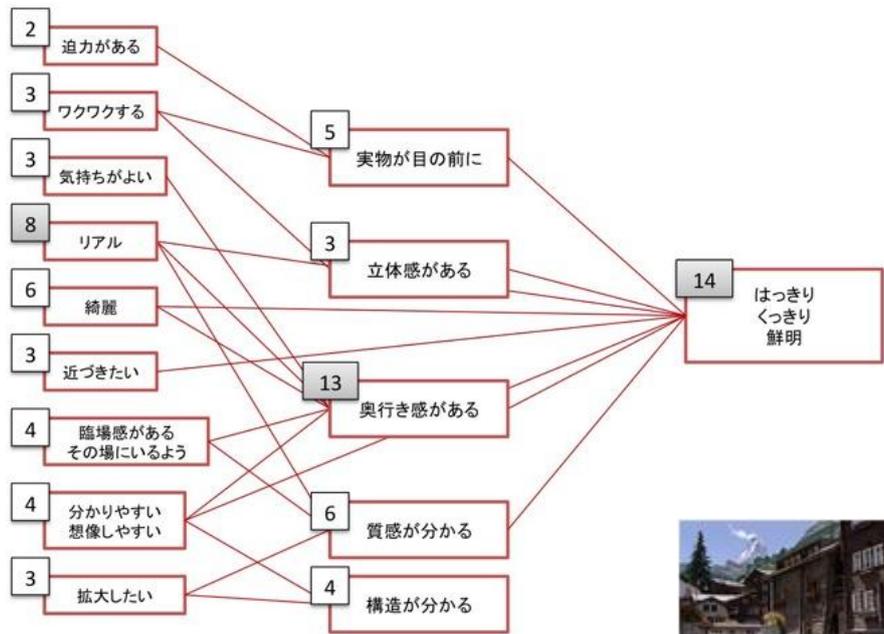


図 1.3.2-15 「マッターホルン」の評価グリッド結果 (4K 静止画選択時)

構造的質問の集計結果と評価グリッドから、「立体感・奥行き感分かる」というのが、4Kを選択した大きな要因であることが分かる。「立体感・奥行き感分かる」のは下位概念である「はっきり・くっきり・鮮明」に見えるからであり、立体感・奥行き感分かることで「ワクワクする」、「気持ちが良い」、「リアル」、「綺麗」、「近づきたい」、「その場にいる・臨場感がある」、「分かりやすい・想像しやすい」、「拡大したい」などの上位概念に繋がっていることが分かった。

2Kを好ましいと選択した理由としては、構造的質問では、「近づきたい（1人）」が選択された。その他の理由としては、「奥行き感に余裕があって見やすい（1人）」、「鮮明で色鮮やか（1人）」、「アナログ感があって哀愁を感じる（1人）」、「統一感があり全体を見やすい（1人）」が挙げられた。

「どちらでもない」を選択した人数は1人で、「多少の違いを感じたがどちらでも良い」という意見であった。

次に、動画に関して、4Kを好ましいと選択した場合の構造的質問の集計結果を下図1.3.2-16に示す。

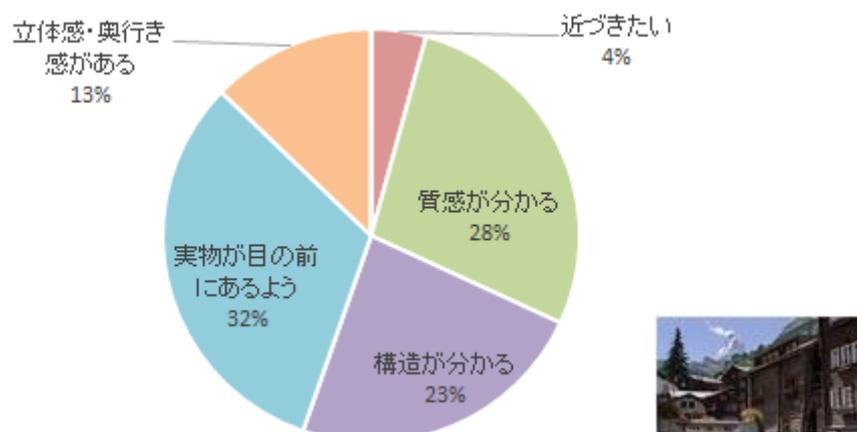


図 1.3.2-16 「マッターホルン」のアンケート調査結果（4K 動画選択時）（全回答数 47）

「画像に近づきたい」を選択したのが全体の4%（2人）「画像の質感が分かる」を選択したのが全体の28%（13人）、「画像の構造が分かる」を選択したのが全体の23%（11人）「実物が目の前のように感じる」を選択したのが全体の32%（15人）、「立体感・奥行き感を感じる」を選択したのが全体の13%（6人）であった。その他の選択理由としては、「はっきり・くっきり・鮮明・画質が良い（18人）」、「位置関係・距離感が分かる（6人）」、「綺麗（6人）」、「リアル（4人）」、「実際に自分の目で見ている感覚がする・その場にいる感覚がする（3人）」、「ワクワクする（2人）」などが挙げられた。

続いて、評価グリッドの結果を図1.3.2-17に示す。7回以上の発言をグレーで表す。

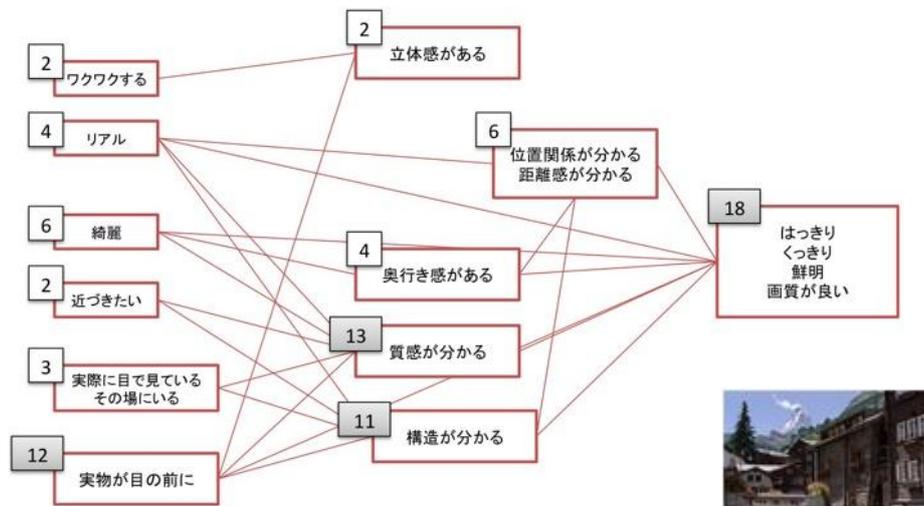


図 1.3.2-17 「マッターホルン」の評価グリッド結果（4K 動画選択時）

構造的質問の集計結果と評価グリッドからも分かるように、「質感・構造が分かる」項目が 4K を選択した大きな要因として挙げられる。「質感・構造が分かる」のは下位概念である「位置関係・距離感が分かる」、「はっきり・くっきり・鮮明」に見えるからであり、質感・構造が分かることで「ワクワクする」、「リアル」、「綺麗」、「近づきたい」、「自分の目で見ている・その場にいる」、「実物が目の前にあるよう」などの上位概念に繋がっていることが分かった。

2K を好ましいと選択した人の選択理由としては、「ぼんやりしていて全体を見やすい (2 人)」が挙げられ、構造的質問の選択肢は選択されなかった。

「どちらでもない」を選択した人数は 5 人で、「違いを感じなかった (5 人)」という結果であった。

静止画と動画を比較してみると、静止画は「立体感・奥行き感が分かる」が多く選択されたのに対し、動画では「質感・構造が分かる」が多く選択されていることが分かった。両者の注視箇所分布を下図 1.3.2-18 に示す。



図 1.3.2-18 「マッターホルン」の注視箇所分布（左：静止画、右：動画）

静止画では、手前の建物から奥のマッターホルンまで視線が分散しているのに対して、動画では画面の下部に視線が集中している。これは動画では画面下端に人や車の動きがあって被験者の注意をひきつけたため、静止画と動画で視線の分布が異なり、評価グリッ

ドの結果に違いが出たと考えられる。

### (5) 「東京スカイツリー」

静止画・動画条件ともに、4K が有意に好まれたため、4K を選択した場合の構造的質問の集計と評価グリッドの作成を行った。

まず静止画に関して、4K を好ましいと選択した場合の構造的質問の集計結果を下図 1.3.2-19 に示す。

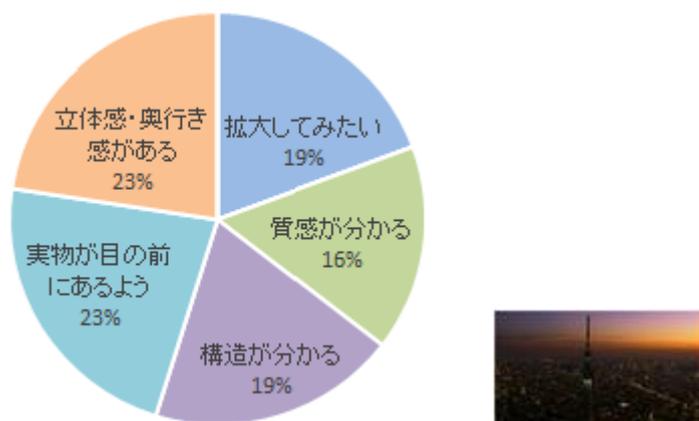


図 1.3.2-19 「東京スカイツリー」のアンケート調査結果 (4K 静止画選択時) (全回答数 31)

「画像を拡大したい」を選択したのが全体の 19% (6 人)、「画像の質感が分かる」を選択したのが全体の 16% (5 人)、「画像の構造が分かる」を選択したのが全体の 19% (6 人)。「実物が目の前のように感じる」を選択したのが全体の 23% (7 人)、「立体感・奥行き感を感じる」を選択したのが全体の 23% (7 人)であった。その他の選択理由としては、「はっきり・くっきり・鮮明 (16 人)」、「綺麗 (8 人)」、「分かりやすい (6 人)」、「カッコいい (2 人)」などが挙げられた。

続いて、評価グリッドの結果を下図 1.3.2-20 に示す。7 回以上の発言をグレーで表す。

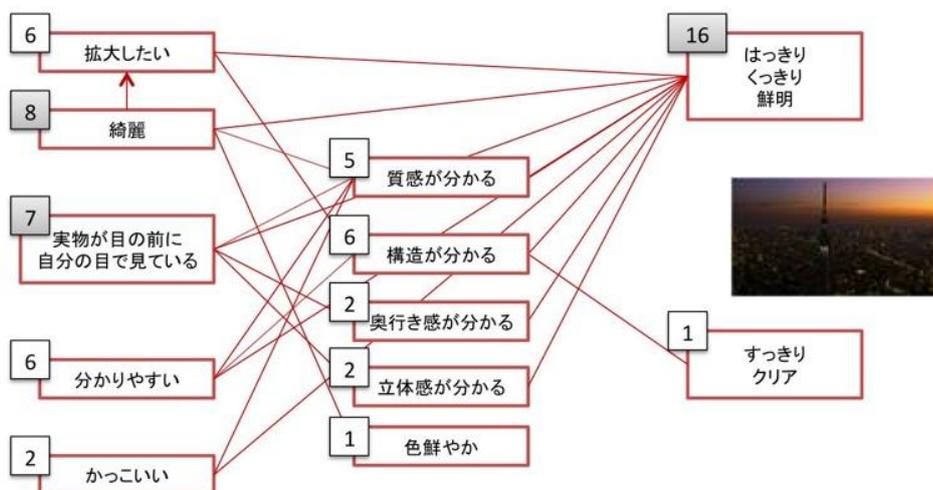


図 1.3.2-20 「東京スカイツリー」評価グリッド結果 (4K 静止画選択時)

構造的質問の集計結果と評価グリッドからも分かるように、構造的質問の回答選択肢はバランスよく選択され、「質感が分かる」、「構造が分かる」、「立体感・奥行き感が分かる」ことが上位概念に繋がっている。質感・構造・立体感・奥行き感が分かるのは、「はっきり・くっきり・鮮明」に見えるからであり、質感が分かることは「綺麗」、「実物が目の前にあるよう」、「分かりやすい」、「かっこいい」の上位概念に繋がっている。また、構造が分かることは「拡大したい」という能動的な心理に繋がり、立体感・奥行き感が分かることは「実物が目の前にあるよう」、「その場で自分の目で見ている」というような臨場感・没入感に繋がっていることが分かった。

2K を好ましいと選択した人の選択理由としては、「新鮮な気がした(1人)」のみとなり、構造的質問の選択肢は選ばれなかった。

「どちらでもない」を選択した人数は3人で、「違いを感じなかった(2人)」、「どちらもノイズが気になり好ましくない(1人)」が挙げられた。

次に、動画に関して、4K を好ましいと選択した場合の構造的質問の集計結果を下図 1.3.2-21 に示す。

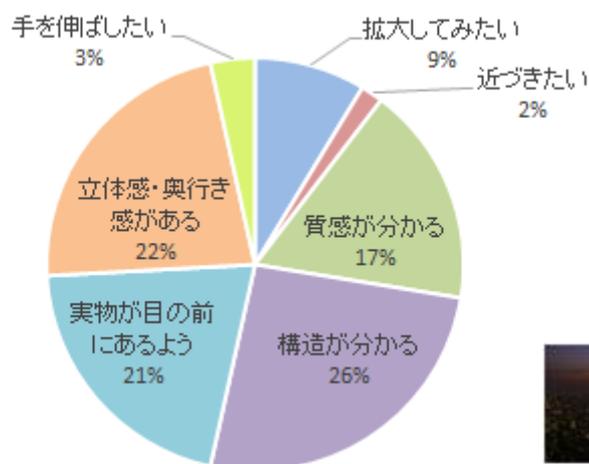


図 1.3.2-21 「東京スカイツリー」アンケート調査結果(4K 動画選択時)(全回答数 58)

「画像を拡大したい」を選択したのが全体の 9% (5 人)、「画像に近づきたい」を選択したのが全体の 2% (1 人)「画像の質感が分かる」を選択したのが全体の 17% (10 人)、「画像の構造が分かる」を選択したのが全体の 26% (15 人)、「実物が目の前にあるように感じる」を選択したのが全体の 21% (12 人)、「立体感・奥行き感を感じる」を選択したのが全体の 22% (13 人)、「画像に手を伸ばしたい」を選択したのが全体の 3% (2 人)であった。その他の選択理由としては、「はっきり・くっきり・鮮明(22人)」、「綺麗(12人)」、「その場で自分の目で見ている感覚(4人)」、「リアル(3人)」、「ワクワクする(3人)」、「分かりやすい(2人)」などが挙げられた。

続いて、評価グリッドの結果を下図 1.3.2-22 に示す。7 回以上の発言をグレーで表す。

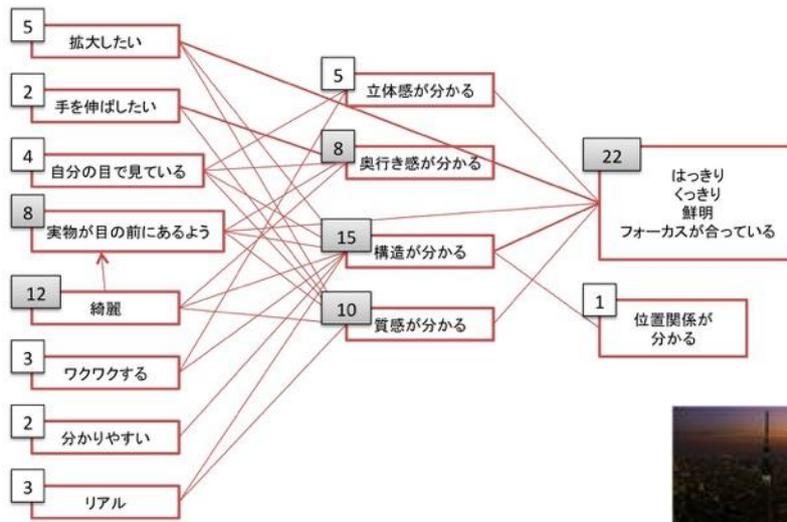


図 1.3.2-22 「東京スカイツリー」評価グリッド結果（4K 動画選択時）

構造的質問の集計結果と評価グリッドからも分かるように、動画においても構造的質問の選択肢はバランスよく選択され、「質感が分かる」、「構造が分かる」、「立体感・奥行き感が分かる」ことが上位概念に繋がっている。質感・構造・立体感・奥行き感が分かるのは、「はっきり・くっきり・鮮明」に見えるからである。質感・構造が分かることで「拡大したい」、「手を伸ばしたい」、「その場で自分の目で見ているよう」、「実物が目の前にあるよう」、「綺麗」、「ワクワクする」、「分かりやすい」、「リアル」などの上位概念に繋がっている。立体感・奥行き感が分かることは、「実物が目の前にあるよう」、「その場で自分の目で見ている」というような臨場感や没入感、「手を伸ばしたい」という能動的な心理に繋がっている。

2K を好ましいと選択した理由としては、構造的質問の選択肢では、「実物が目の前にあるよう（1人）」のみが選択された。その他の理由としては、「スカイツリーが強調されている（2人）」、「スカイツリーに存在感がある（1人）」が挙げられた。

「どちらでもない」を選択した人数は2人で、「違いを感じなかった（2人）」という結果であった。

静止画と動画を比較してみると、動画では「実物が目の前にあるよう」、「その場で自分の目で見ている感覚がする」などの臨場感・没入感に繋がる上位概念が増え、「手を伸ばしたい」という能動的な上位概念も抽出された。

続いて、両者の注視箇所分布を下の図 1.3.2-23 に示す。

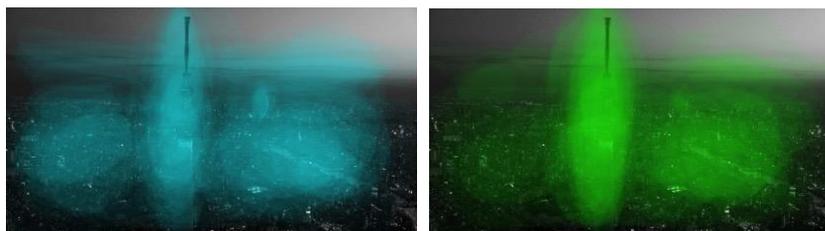


図 1.3.2-23 「東京スカイツリー」の注視箇所分布（左：静止画、右：動画）

動画は静止画と比較すると、画面の右側に視線が集まっていることが分かる。これは、映像が画面右側から左側に向かって動き、スカイツリーを右に向かって覗き込むように巡回したことが要因として考えられ、この注視箇所の違いが、静止画と動画の評価グリッドに違いを与えた可能性がある。

## (6) 「ヨットハーバー」

静止画・動画ともに、4K が有意に好まれたため、4K を選択した場合の構造的質問の集計と評価グリッドの作成を行った。

まず静止画に関して、4K を好ましいと選択した場合の構造的質問の集計結果を下図 1.3.2-24 に示す。

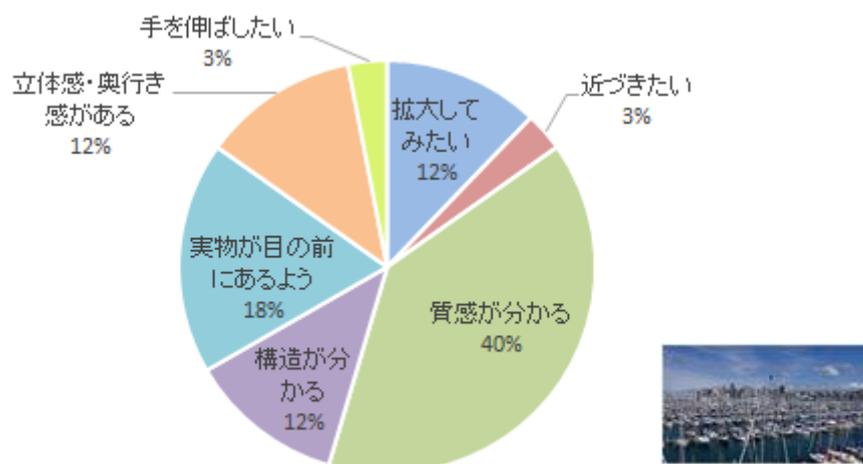


図 1.3.2-24 「ヨットハーバー」 アンケート調査結果（4K 静止画選択時）（全回答数 33）

「画像を拡大したい」を選択したのが全体の 12%（4 人）、「画像に近づきたい」を選択したのが全体の 3%（1 人）、「画像の質感が分かる」を選択したのが全体の 40%（13 人）、「画像の構造が分かる」を選択したのが全体の 12%（4 人）「実物が目の前のように感じる」を選択したのが全体の 18%（6 人）、「立体感・奥行き感を感じる」を選択したのが全体の 12%（4 人）、「画像に手を伸ばしたい」を選択したのが全体の 3%（1 人）であった。その他の選択理由としては、「はっきり・くっきり・鮮明（7 人）」、「綺麗（4 人）」、「分かりやすい（3 人）」、「リアル（3 人）」、「気持ちが良い（2 人）」、「実際にその場で見ている感覚がする（2 人）」、「色鮮やか（2 人）」などが挙げられた。

続いて、評価グリッドの結果を下図 1.3.2-25 に示す。7 回以上の発言をグレーで表す。

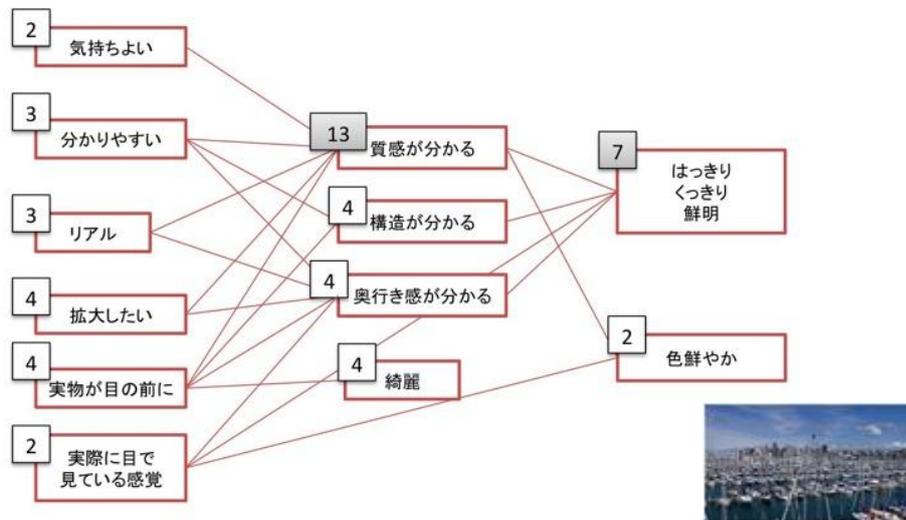


図 1.3.2-25 「ヨットハーバー」の評価グリッド結果（4K 静止画選択時）

構造的質問の集計結果と評価グリッドから、「質感が分かる」というのが、4K を選択した大きな要因であることが分かる。「質感が分かる」のは下位概念である「はっきり・くっきり・鮮明」に見えるからであり、質感が分かることで「気持ちが良い」、「分かりやすい」、「リアル」、「拡大したい」、「実物が目の前にあるよう」、「実際に目で見ている感覚がする」などの上位概念に繋がっていることが分かった。

2K を好ましいと選択した人の選択理由としては、「刺々しくなくて見ていられる（2 人）」、「4K が見えすぎてごちゃごちゃしているから（1 人）」、「遠くの対象がぼやけていて本物っぽい（1 人）」であった。

「どちらでもない」を選択した人数は 7 人で、「違いを感じなかった（1 人）」の他に、どちらも好ましくない意見として、「4K は目がちかちかする（1 人）」、「目が疲れる（1 人）」、「長時間見ていられない（1 人）」、「刺々しい（1 人）」、「眩しい（1 人）」が挙げられた。

次に動画で 4K を好ましいと選択した場合の構造的質問の集計結果を図 1.3.2-26 に示す。

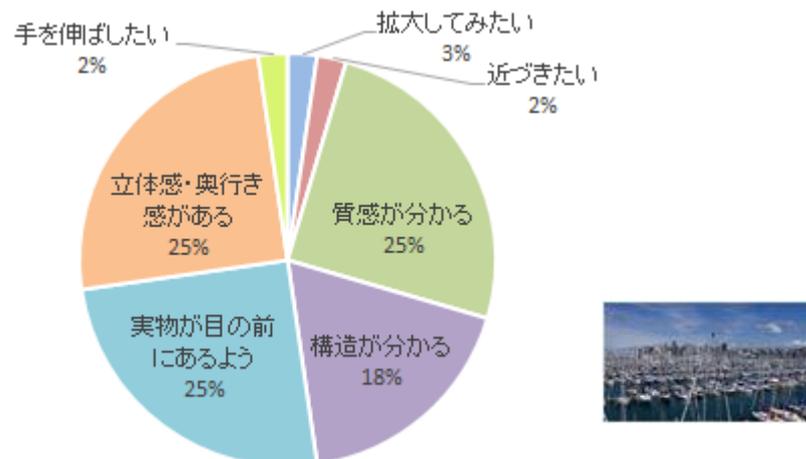


図 1.3.2-26 「ヨットハーバー」アンケート調査結果（4K 動画選択時）（全回答数 44）

「画像を拡大したい」を選択したのが全体の 3% (1 人)、「画像に近づきたい」を選択したのが全体の 2% (1 人)「画像の質感が分かる」を選択したのが全体の 25% (11 人)、「画像の構造が分かる」を選択したのが全体の 18% (8 人)、「実物が目の前にあるように感じる」を選択したのが全体の 25% (11 人)、「立体感・奥行き感を感じる」を選択したのが全体の 25% (11 人)、「画像に手を伸ばしたい」を選択したのが全体の 2% (1 人)であった。その他の選択理由としては、「はっきり・くっきり・鮮明 (16 人)」、「リアル (4 人)」、「綺麗 (3 人)」、「その場にいる感覚がする (2 人)」などが挙げられた。

続いて、評価グリッドの結果を下図 1.3.2-27 に示す。7 回以上の発言をグレーで表す。

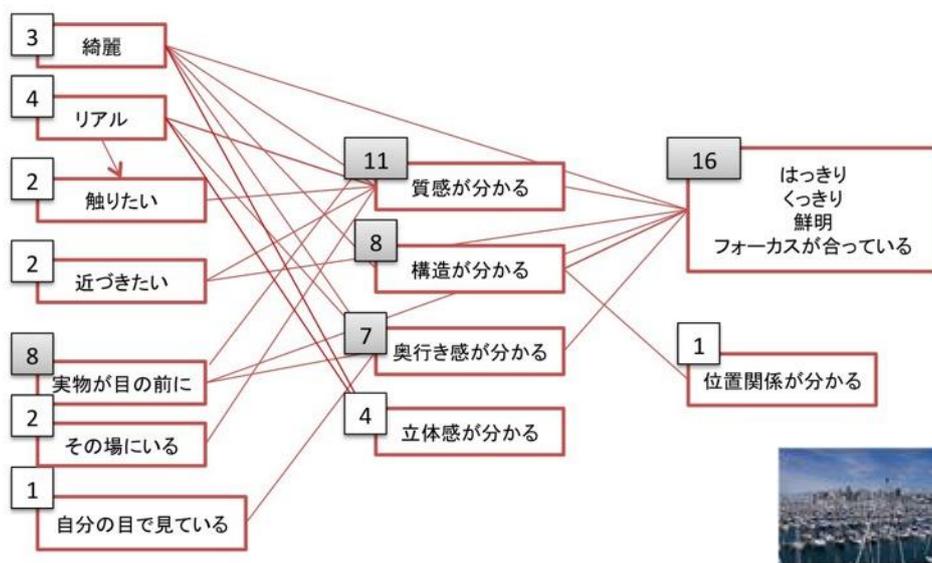


図 1.3.2-27 「ヨットハーバー」評価グリッド結果 (4K 動画選択時)

構造的質問の集計結果と評価グリッドから、「質感・奥行き感が分かる」というのが、この動画に関して 4K を選択した大きな要因であることが分かる。「質感・奥行き感が分かる」のは下位概念である「はっきり・くっきり・鮮明」に見えるからであり、質感・奥行き感が分かることで「綺麗」、「リアル」、「触りたい」、「近づきたい」、「実物が目の前にあるよう」、「その場にいるよう」、「その場で自分の目で見ている感覚」などの上位概念に繋がっていることが分かった。

2K を好ましいと選択した人数は 9 人であった。選択の理由としては、構造的質問では、「奥行き感がある (1 人)」のみが選択された。その他の理由としては、「開けて見える (2 人)」、「4K は目がちかちかする (2 人)」、「気持ち悪い (2 人)」、「疲れる (1 人)」、「ごちゃごちゃして見える (1 人)」が挙げられた。

「どちらでもない」を選択した人数は 2 人で、「どちらも眩しくて見ていられない (1 人)」、「画像自体が好きではない (1 人)」という結果であった。

静止画と動画の比較をしてみると、動画では「実物が目の前にあるよう」、「その場にいる感覚がする」、「その場で自分の目で見ているよう」などの臨場感・没入感に繋がる上位

概念が増えた一方で、細かいものが見えすぎることによる不快感を示す人数も増加していることが分かった。

続いて、両者の注視箇所分布を図 1.3.2-28 に示す。



図 1.3.2-28 「ヨットハーバー」注視箇所分布（左：静止画、右：動画）

動画の方が奥の建物やタワーに視線が集まっていることが分かる。これは、動画ではカメラがクレーンアップしていることが要因として考えられ、この注視箇所の違いが、静止画と動画の評価グリッドの違いに影響を与えた可能性がある。

### 1.3.3 考察

#### (1) FFT 分析との関連

まず予備実験の項で言及した FFT 分析との関連で実験結果を考察する。

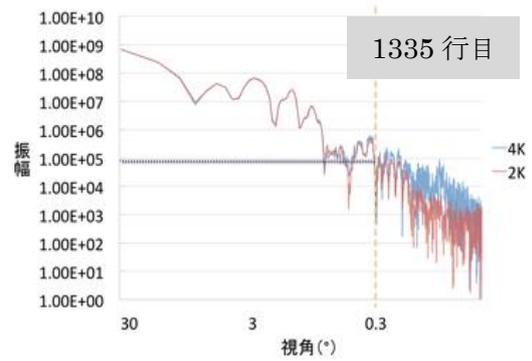
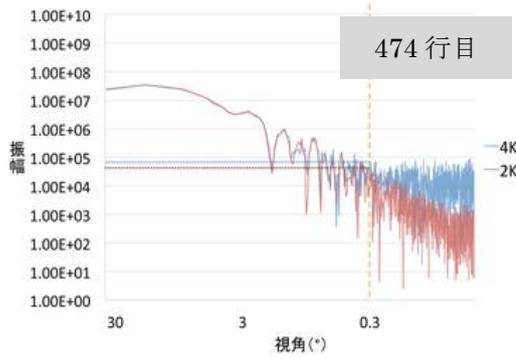
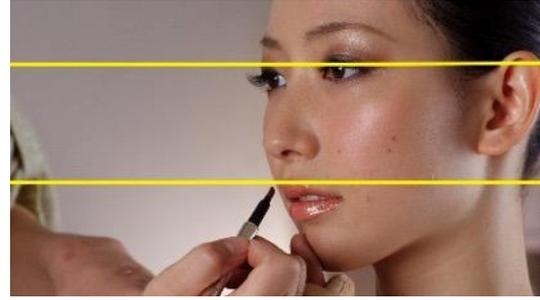
次頁以降の図 1.3.3-1 にて、すべての刺激について、被験者の静止画での注視箇所分布と一次元 FFT の分析対象行及びその FFT 分析結果を掲載する。（二次元 FFT 分析結果は P14 の 1.1.4 を参照いただきたい。）

一次元 FFT のグラフから考察すると、視角が  $0.3^\circ$  より小さくなるにつれ（グラフでは  $0.3$  より右に行くに従って）、4K では高周波成分が維持されている一方、2K では顕著に減少していることが示されている。

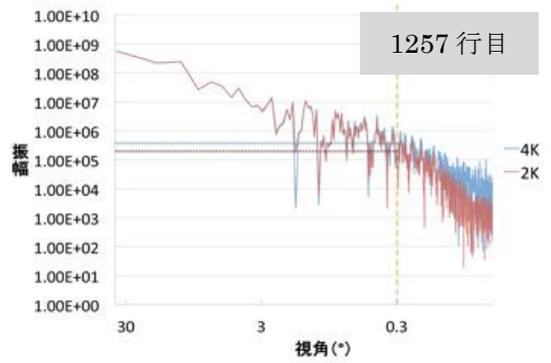
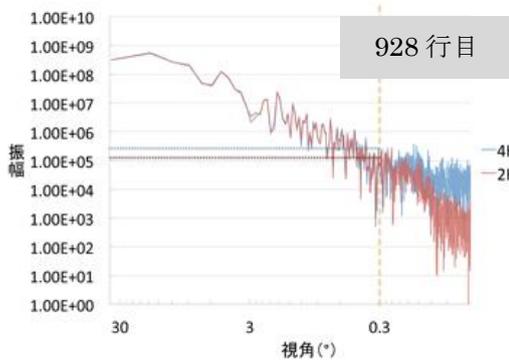
4K のなかでも以下のことが評価結果に影響を与えた可能性がある。

- ・ 「書架」、「東京スカイツリー」、「ヨットハーバー」は視角  $0.3$  における振幅スペクトルの絶対値が他に比較して大きく、且つ高い周波数領域においても減少傾向が小さく大きな値を維持していることが分かる。特に、「ヨットハーバー」952 行目は、画像からも分かるように、写っている内容に細かいディテールが多く、高い周波数領域まで強い振幅スペクトルを示しており、これが実験結果に影響を与えたと考えられる。
- ・ 「女性」1335 行と「ペイント」1257 行目は視角  $0.3$  における振幅スペクトルの絶対値が小さく、且つ高周波になるにつれ著しく減少していることが分かる。この二つの画像は、対象をクローズアップで撮影した画像だが、細かい被写体要素が少ない。

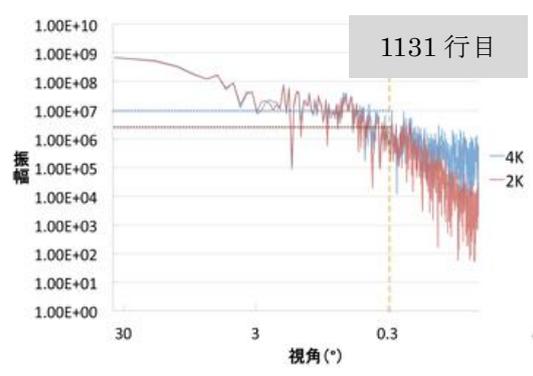
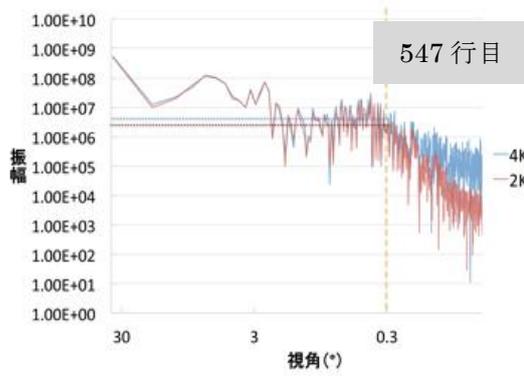
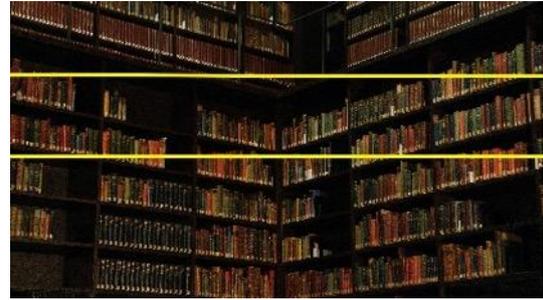
「女性」



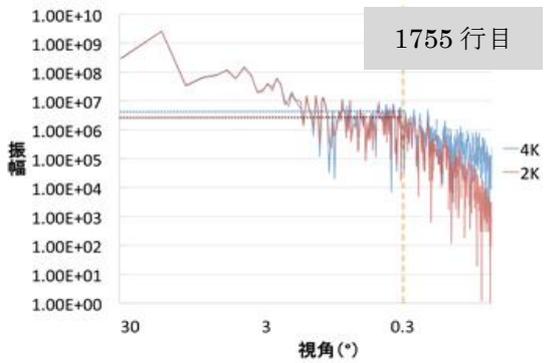
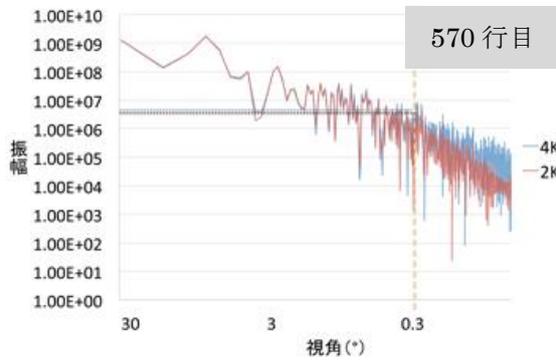
「ペイント」



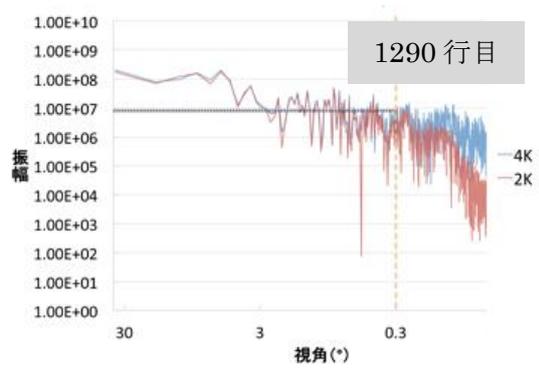
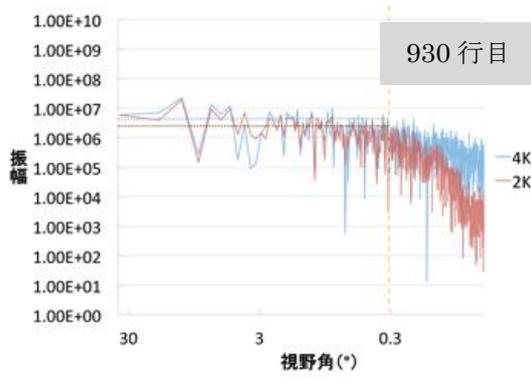
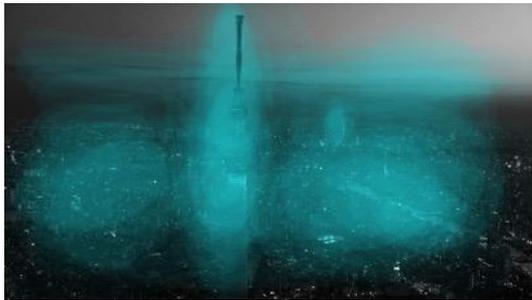
「書架」



「マッターホルン」



「東京スカイツリー」



「ヨットハーバー」

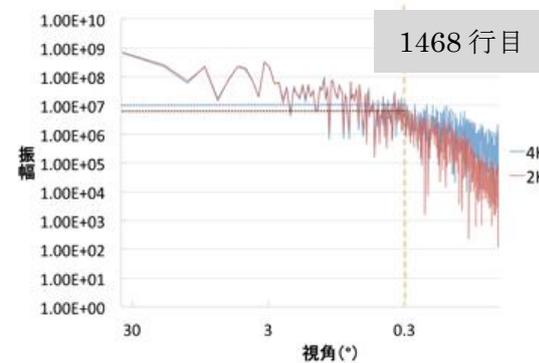
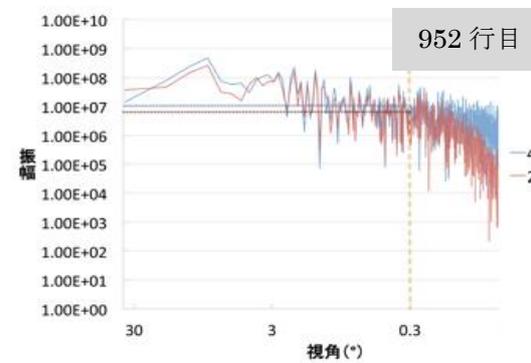


図 1.3.3-1 全刺激の注視箇所分布と一次元 FFT 対象行と FFT 結果のグラフ

更に考察を行うため、横軸の区間を限定して分析を行った。人間の眼の視覚特性として、画像の明暗の知覚は、空間周波数 2~3cpd (cycle per degree : 視角 1 度あたりの周期) の間に最大感度を持ち、それよりも高い周波数成分が、画像の鮮鋭度に寄与すると言われて<sup>5</sup>いる。そこで、この区間の振幅スペクトルを抽出して比較を行った。(実際に比較に使用した区間は横軸で視角が 0.331°よりも小さく 0.049°までの範囲である。) 振幅スペクトルの数値を対数変換し、区間の分散についてバートレット検定を用いたところ、等分散と認められた (P<0.01) ため、振幅の平均値を用いて比較を行った。その結果を示したのが下図 1.3.3-2 である。

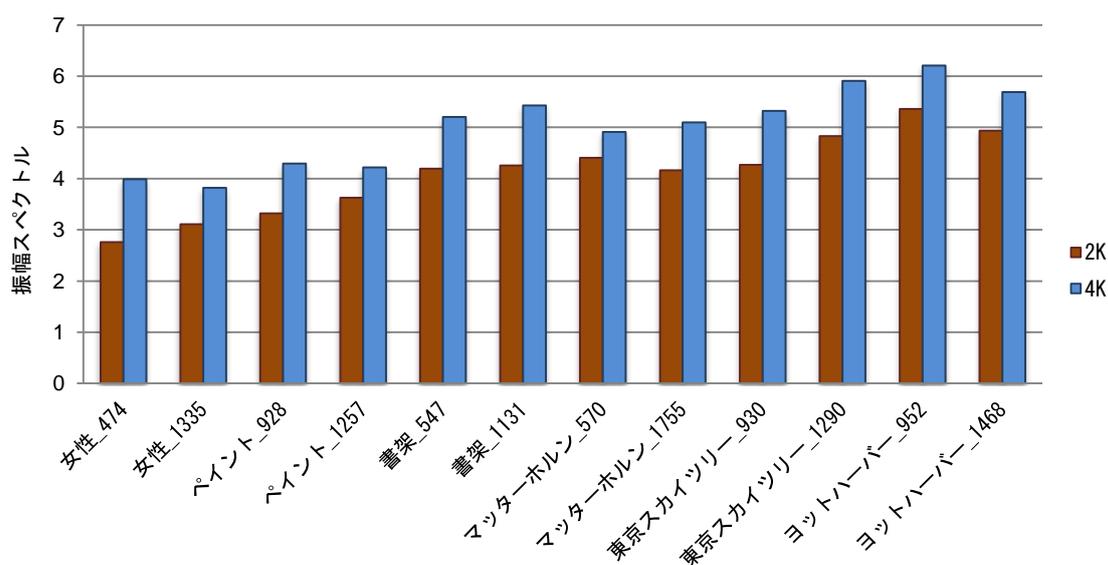


図 1.3.3-2 視角 0.3 より高い周波数領域における振幅スペクトルの平均値

4K のなかでも、「女性」の高周波成分が最も小さく、一対比較の判断に影響を与えた可能性が考えられる。具体的には「女性」1335 行目が最も小さく、続いて「女性」474 行目、「ペイント」1257 行目、「ペイント」928 行目の順となった。反対に最も大きい値となったのは、「ヨットハーバー」952 行目で、続いて「東京スカイツリー」1290 行目、「ヨットハーバー」1468 行目、「書架」1131 行目となった。この結果から、最も知覚しやすい周波数帯において、振幅スペクトル値が小さいことが 4K と 2K の差を知覚しづらくさせる可能性が考察された。また「ヨットハーバー」では 2K を好ましいと選択した理由として「刺々しくなくて見ていただける」などのアンケート結果が得られたが、振幅スペクトルが必要以上に大きな値をとる場合、被験者に不快感を与える可能性が示唆されたといえる。

## (2) 一対比較及びアンケート解析

「女性」以外の刺激において、4K は 2K と比較して有意に好まれると結果となった。4K を好ましいとした場合の評価グリッドの結果より、下位概念である「色鮮やかさ」、「くっきり」、「はっきり」、「鮮明さ」、「フォーカスが合っている」などの物理的要因が「質感・

構造が分かる」、「立体感・奥行き感を感じる」といった中位概念を形成し、上位概念である「画像に近づきたい」、「実物が目の前のように感じる」、「画像に手を伸ばしたい」といった心理的要因に影響を与えたことが示唆された。

刺激による傾向として、近景画像や細かい対象が多い画像に関しては、質感が分かることで「手を伸ばしたい」、「触ってみたい」、「拡大したい」などの能動的なユーザ体験が期待できる。また、遠景が含まれる画像に関しては、「立体感・奥行き感が分かる」ことによって、「実物が目の前のように感じる」、「その場で自分の目で見ている感じがする」といった臨場感・没入感を体験することが期待できる。

静止画と動画の比較を行ってみると、動画の方が臨場感・没入感を感じやすいことが示され、ズームやクレーンなどのカメラワークは臨場感・没入感を増幅させる一定の効果があることが分かった。

下図 1.3.3-3 は 7 項目の構造的質問に関する回答結果を刺激別に一覧にしたものである。近景である「女性」及び「ペイント」は「画像の質感が分かる」に対して多くの発言が得られた。また近景の「ペイント」や中景の「書架」において「画像に手を伸ばしたい」という能動的な心理状態が表れており、近景・中景における選好判断の基準として、質感や能動的な心理状態が重要な要因となり得ることが示唆されている。一方、遠景である「マッターホルン」や「東京スカイツリー」、「ヨットハーバー」においては「画像の構造が分かる」、「立体感・奥行き感を感じる」、「目の前にあるように感じる」など空間の把握や臨場感・没入感に関わる発言が多かった。

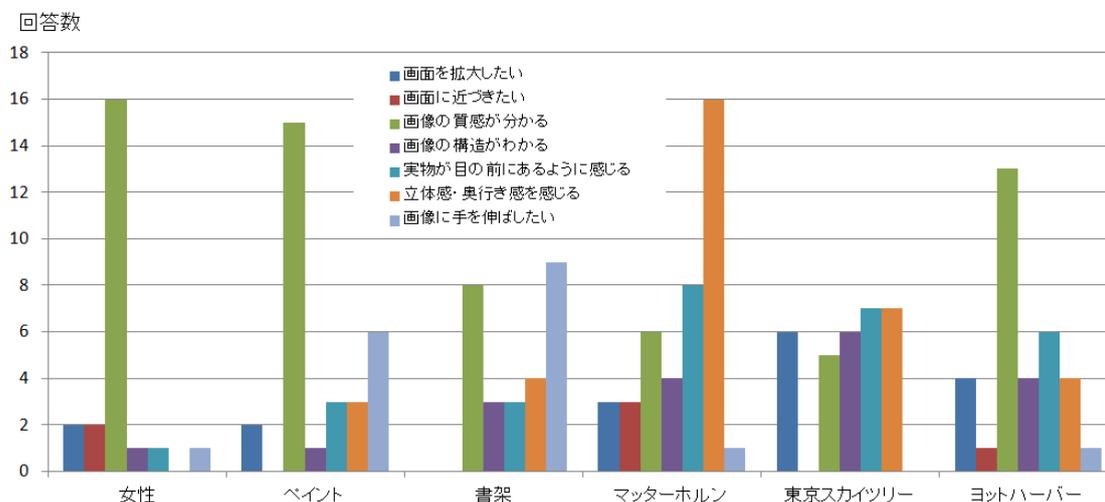


図 1.3.3-3 構造的質問の刺激別の結果一覧

以上より、高解像度化が選好判断に与える影響には、近景・中景・遠景など焦点距離に関連する構造的な内容や、被写体のクローズアップなどの画面構成に関する要因が関連していると考えられる。

各刺激の考察を以下にまとめる。

(a) 「女性」

静止画は4Kと2Kの選好に差がなかった。2Kを選択した理由として「(4Kよりも2Kの)質感が好ましい」という意見が多く、予備実験と同様に好みが分かれる結果となった。動画に関しては4Kの方が選好される結果となったが、「違いを感じなかったからどちらでもない」と回答した人数が19人であったことを考慮すると、動画の方が4Kと2Kの差が知覚しづらくなった可能性が示唆された。これは4Kの精細感が表現されたまつげや唇が動いていたことが原因として考えられる。アンケート解析より、静止画・動画ともに質感が分かることが選好に大きな影響を与えることが分かった。質感が分かることによって、「対象に親近感が湧く」、「実物が目の前のように感じる」などの臨場感・没入感に繋がる心理状態になる。一方、FFTの分析結果では、高周波成分が他の刺激と比べて少なく、このことが一対比較の判断に影響を与えた可能性も考えられる。

(b) 「ペイント」

静止画・動画ともに4Kが有意に好まれた。アンケート解析より、質感が分かることが選好に大きな影響を与えていることが分かった。質感が分かることによって、「画面に手を伸ばしたい(対象に触りたい)」、「もっと(ずっと)見ていたい」、「実物が目の前のように感じる」というような心理状態になる。これは2Kを選択した際には抽出されていないため、4Kの特性であると言える。この刺激に関しては「画面に手を伸ばしたい・触りたい」という能動的な心理状態が比較的多く抽出されており、近景では質感が分かることで、「触ってみたい」という新しいユーザ体験を生み出す可能性が示唆された。

(c) 「書架」

静止画・動画ともに4Kが好まれ、質感・構造が分かることが選好に大きな影響を与えていることが分かった。質感・構造が分かるのは、「はっきり・くっきり・鮮明」というような高精細であることが要因であり、質感・構造が分かることで「画面に手を伸ばしたい」、「実物が目の前のように感じる」、「分かりやすい」というような心理状態になる。動画に関しては、「拡大したい」、「近づきたい」という能動的な心理的影響が静止画より多く抽出されたため、ズームインの効果により、能動的な心理状態になったと考えられる。しかし、「ズームインのスピードが速すぎて気持ち悪い」という意見もあり、観察者に不快感を与えずに4Kの効果を増幅するカメラワークを検討する必要がある。

(d) 「マッターホルン」

静止画・動画ともに4Kが選好された。この画像に関しては静止画と動画で注視箇所の分布が異なる結果となったため、アンケートの結果にも差異が出た。注視箇所が異なる結果となったのは、動画の画面下端に車の移動や人の歩行などの動きの要素があったためで、

この部分を注視したことによって、動いている対象の質感がよく分かり、実物が目の前にあるように感じる、その場にいるように感じるといった臨場感・没入感に繋がる心理状態になったと分析される。一方で静止画は、手前の建物から奥の山にまで目を向けたことで、奥行き感が分かることが選好に大きな影響を与えた。

#### (e) 「東京スカイツリー」

遠景であるため、「立体感・奥行き感が分かる」が選択される一方で、「質感・構造が分かる」ことも選好に影響を与えた。要因としては、夕闇迫る中、圧倒的な存在感を示す東京スカイツリーに視線が集まったことと、下に広がる小さな建物や灯り一つ一つが 4K であることで鮮明に見えたことが考えられる。スカイツリーの質感や骨組みの構造が分かることで、「実物が目の前にあるように感じる」、「分かりやすい」、「かっこいい」などの心理状態になった。また、街の小さな灯りのような細かい対象がはっきり見えることで「拡大したい」という能動的な心理状態になった可能性がある。立体感・奥行き感が分かることは、「実物が目の前にあるよう」、「その場で自分の目で見ている感覚がする」などの臨場感・没入感に繋がる心理状態になり、これは動画になることで増幅していることから、動画の方が立体感・奥行き感、ひいては臨場感・没入感を感じやすいと言える。

#### (f) 「ヨットハーバー」

静止画では、質感が分かることが選好に大きな影響を与えた。遠近感のある映像であるにも関わらず奥行き感が選択されなかったのは、比較的近い部分に広がるヨットの細かいマストに視線が集まったことが要因として考えられる。4K になることでマストの一本一本がはっきり見えたことが、質感が分かる要因となり、「拡大したい」という能動的な心理や「実物が目の前にあるように感じる」といった臨場感に繋がる心理状態になった。

一方動画では、質感とともに「奥行き感が分かる」が多く選択された。これは、クレーンアップのカメラワークの効果によって、視線が一緒に上に向き、遠方の景色に向けたことが考えられる。注視箇所の分布結果からも、動画の方が遠方に視線を多くむけていることが分かる。遠くまで鮮明に見え、奥行き感を感じることで「実物が目の前にあるように感じる」、「その場で自分の目で見ている感覚がする」などの臨場感・没入感に繋がる心理状態になった。静止画と比較すると動画の方が臨場感・没入感を感じている人数も多く、動画によってその効果が増幅したと言える。しかし、この映像には数多くのマストが並んで写っており、こうした細かい対象が見えすぎることで不快に感じる人が少なくなく、動画では不快に感じる人の数が増えている。細かい対象がはっきり見えることが必ずしも選好に繋がるとは言えない。ごちゃごちゃとした印象や鋭い感じを与える被写体を 4K で表現する際は、その鮮鋭さが過度にならないようにするなどの注意が必要かも知れない。

## 1.4 実験2 趣旨と概要

### 1.4.1 目的

実験1の主観評価では、4Kは2K(HD)と比較して有意に好まれる、という結果となった。被験者に行ったインタビューによると、4Kがほうが好ましいと答えた理由として、立体感や奥行き感を感じられるという意見が多数報告された。そこで、実験2では画像観察時の輻輳眼球運動及び調節機能を中心に測定し、視機能特性が4K画像と2K画像でどういう特徴があるかを調べることにした。

人間の眼球運動には、左右眼が同方向へ動く運動と逆方向へ動く運動が存在する。輻輳眼球運動とは左右眼が逆方向へ動く運動のことで、近くを注視する際は左右眼が内側に、遠くを注視する際は左右眼が外側に回転運動する。また、視線が交差する点を輻輳点、交差することによってできる角度を輻輳角と呼ぶ(単位:°)。調節機能とは、眼の水晶体の厚みを変えることで見ている物体にフォーカスを合わせる視機能のことである。調節の量は水晶体の屈折力で表され、単位はメートルの逆数を取った diopter で表される。この調節機能と輻輳眼球運動は相互に関連していることが分かっており、調節に伴って起こる輻輳眼球運動は調節性輻輳と呼ばれる。

4K観察時は2Kに比べて輻輳点が画面に近づくことが報告されている<sup>6</sup>が、これは高解像度になることで注視個所の様子がはっきりと分かり、それによってディスプレイとの距離感が分かりやすくなったことが要因の一つであると考えられる。一方、注視点を刺激画像の中心に固定していたために、立体感や奥行きといった各画像の特徴が結果に影響することはなかった。そこで本実験では立体感や奥行きが分かりやすい4K画像を刺激として用い、以下に説明するように注視点を近景の部分と遠景の部分とに誘導して観察するように設定した。

### 1.4.2 実験方法

#### (1) 実験環境

実験は、画面への映り込みを避けるため暗室で行い、刺激呈示には20型のタフパッド(パナソニック製、4K UT-MB5)を使用した。観察位置は4Kの標準視距離である1.5H(35.5cm)に設定し、頭部の動きが実験結果に影響を与えないよう、顎台を用いて被験者の姿勢を固定した。その様子を図1.4.2-1に示す。



図 1.4.2-1 実験風景

測定にはPlusoptix社製の赤外線オプトメータであるPowerRef3(図1.4.2-2)を用いた。この測定器は、被験者の眼から1mの位置に赤外線LEDとカメラを配置し、角膜反射法によって視機能を測定する装置である。



図 1. 4. 2-2 視機能測定装置

## (2) 実験刺激

実験1と同じ刺激を用いた。

## (3) 被験者及び実験手順

被験者は年齢20歳～22歳の男女3名であった。被験者には実験の趣旨を説明したのち、参加への同意を得た。参加に先立ち、視力・色覚の検査を行った。次に、実験刺激の呈示を行った。実験は、近景の部分を見つめる実験と、遠景部分を見つめる実験とに分けて実施した。

眼球運動測定のキャリブレーションを行った後、ブランク(3秒)、注視点画像(3秒)、刺激画像(10秒)の順で1試行とし、これを6刺激について実施したものを1セットとした。注視点画像及び近景、遠景の想定注視領域の例を以下の図1.4.2-3に示す。

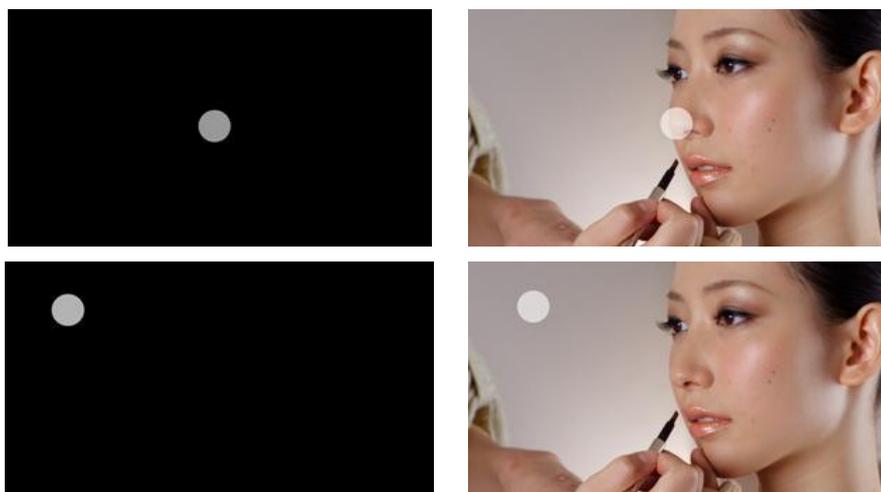


図 1. 4. 2-3 「女性」における注視点画像(左)と想定注視領域(右)、近景(上)と遠景(下)

上図の例のように、注視点画像はそれぞれの刺激の近景（画像内の比較的近い被写体領域）と遠景（画像内の比較的遠い被写体領域）に相当する部分に、視角1度のマークを呈示して注目させ、そのまま刺激画像を見続ける仕組みである。なお、刺激画像の呈示順序については4K画像と2K画像をランダムに表示した。1セット終わったら5分間の休憩をはさみ、その後1セット目の4K画像と2K画像を入れ替えたものを2セット目とし、再度測定を行った。「女性」以外の刺激の近景、遠景の想定注視領域を以下の図1.4.2-4で示す。

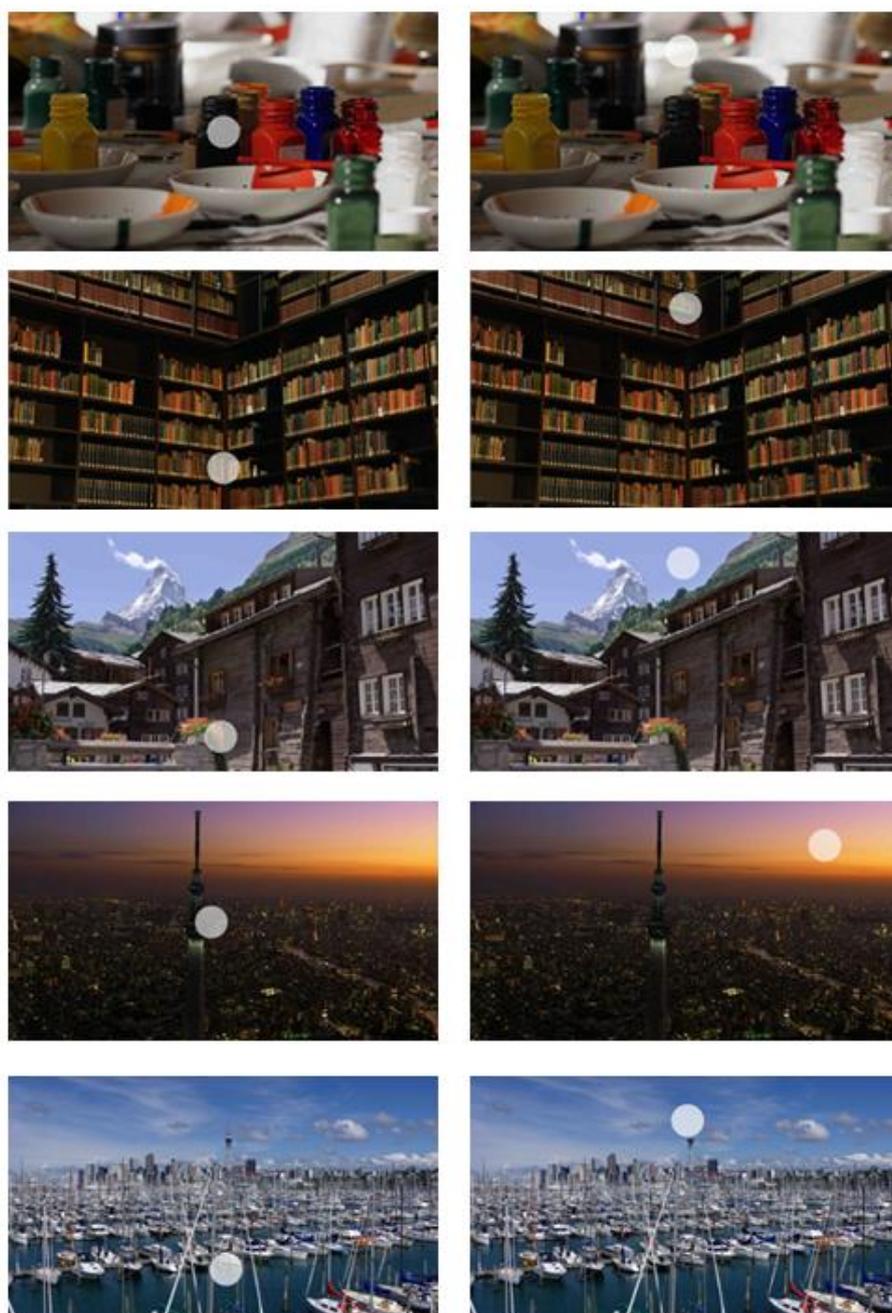


図 1.4.2-4 各刺激の想定注視領域（左：近景、右：遠景）

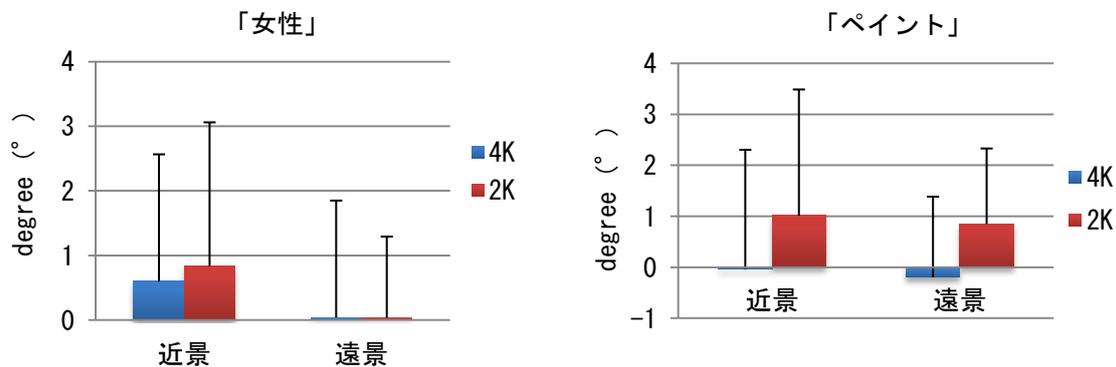
## 1.5 実験2 結果と分析

刺激画像が表示されている 10 秒間の輻輳角(°)と調節(diopter)について、画像毎に平均値と標準偏差を算出し解析を行った。刺激画像の直前に表示された注視点画像 3 秒間の輻輳角と調節の平均値を基準とし、これを画面の位置、すなわち 0 と定義してそこからの変化量を算出した。輻輳運動では、値が正の場合は画面より手前、負の場合は画面より奥方向を表すことになる。調節機能では、値が正の場合は画面より奥方向に調節が合い、負の場合は画面より手前に調節が合う。

### 1.5.1 輻輳運動と調節

刺激観察中の輻輳運動の変化量をもとに、解像度 (2K・4K) と注視点 (注視点が近景か遠景か) 間の変化について被験者内 2 要因分散分析を行った。その結果、すべての刺激において、解像度と注視点の主効果が認められた ( $p<0.01$ )。すなわち解像度によって輻輳運動に差があること、及び注視点によって輻輳運動に差があることが示された。更に、「ペイント」を除いたすべての刺激において、解像度と刺激種類の交互作用に有意差が見られ ( $p<0.01$ )、解像度による輻輳の変化量は注視点によって異なる可能性が示された。

下位検定の結果、「女性」、「ペイント」、「書架」、「東京スカイツリー」の近景において 4K は 2K に比較して画面近くに輻輳が働く結果となった。「ペイント」の遠景は近景と同様の傾向となり、「東京スカイツリー」の遠景では、4K のほうが画面より手前方向に働く結果となった。「マッターホルン」は、近景では 4K の輻輳は画面より手前方向に働き、遠景では画面近くに働く結果となった。「ヨットハーバー」は、近景では奥行き方向に働き、遠景では画面の近くに働く結果となった。以下にその結果を示す。



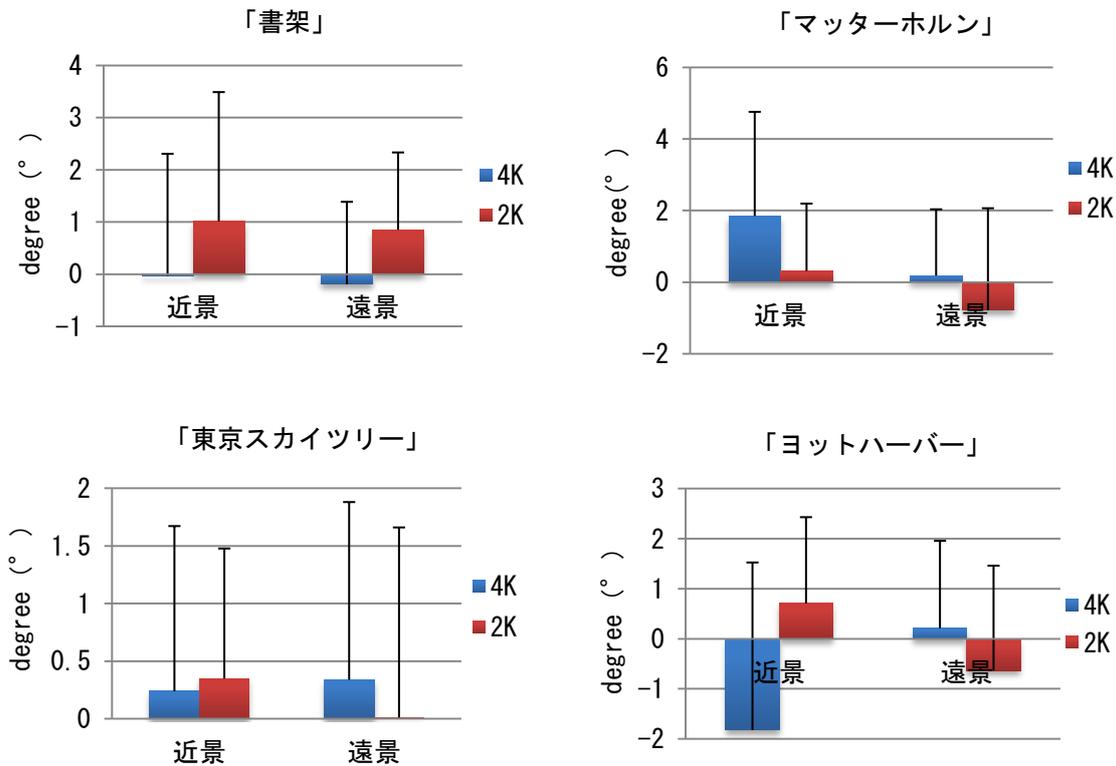


図 1.5.1-1 輻輳運動の変化量

次に刺激観察中の調節機能の変化量をもとに、解像度と注視箇所間の変化について被験者内 2 要因分散分析を行ったところ、「ヨットハーバー」以外の刺激においては解像度と注視箇所の主効果が認められた ( $p < 0.01$ )。「ヨットハーバー」では解像度に対して有意傾向 ( $p < 0.1$ ) が、注視箇所に対しては主効果が認められた。すなわち「ヨットハーバー」以外の刺激においては、解像度によって調節機能に差があること、すべての刺激において注視箇所によって調節機能に差があることが示された。なお、解像度と刺激種類の交互作用に有意差が認められ ( $p < 0.01$ )、調節の変化量は注視箇所によって異なる可能性が示された。

4K の場合の調節機能を 2K と比較したとき、「女性」「ペイント」の近景では画面の近くに働き、「女性」の遠景では奥行き方向に、ペイントの遠景では画面の手前方向に働いた。「書架」「東京スカイツリー」は、近景では画面の手前方向に働き、「書架」の遠景では画面の近くに、「東京スカイツリー」の遠景では画面より奥行き方向に働いた。「マッターホルン」では、近景、遠景ともに画面の奥行き方向に働いた。「ヨットハーバー」では、近景では「マッターホルン」と同様に画面の奥行き方向に、遠景では手前方向に働く結果となった。

以下の図 1.5.1-2 にその結果を示す。

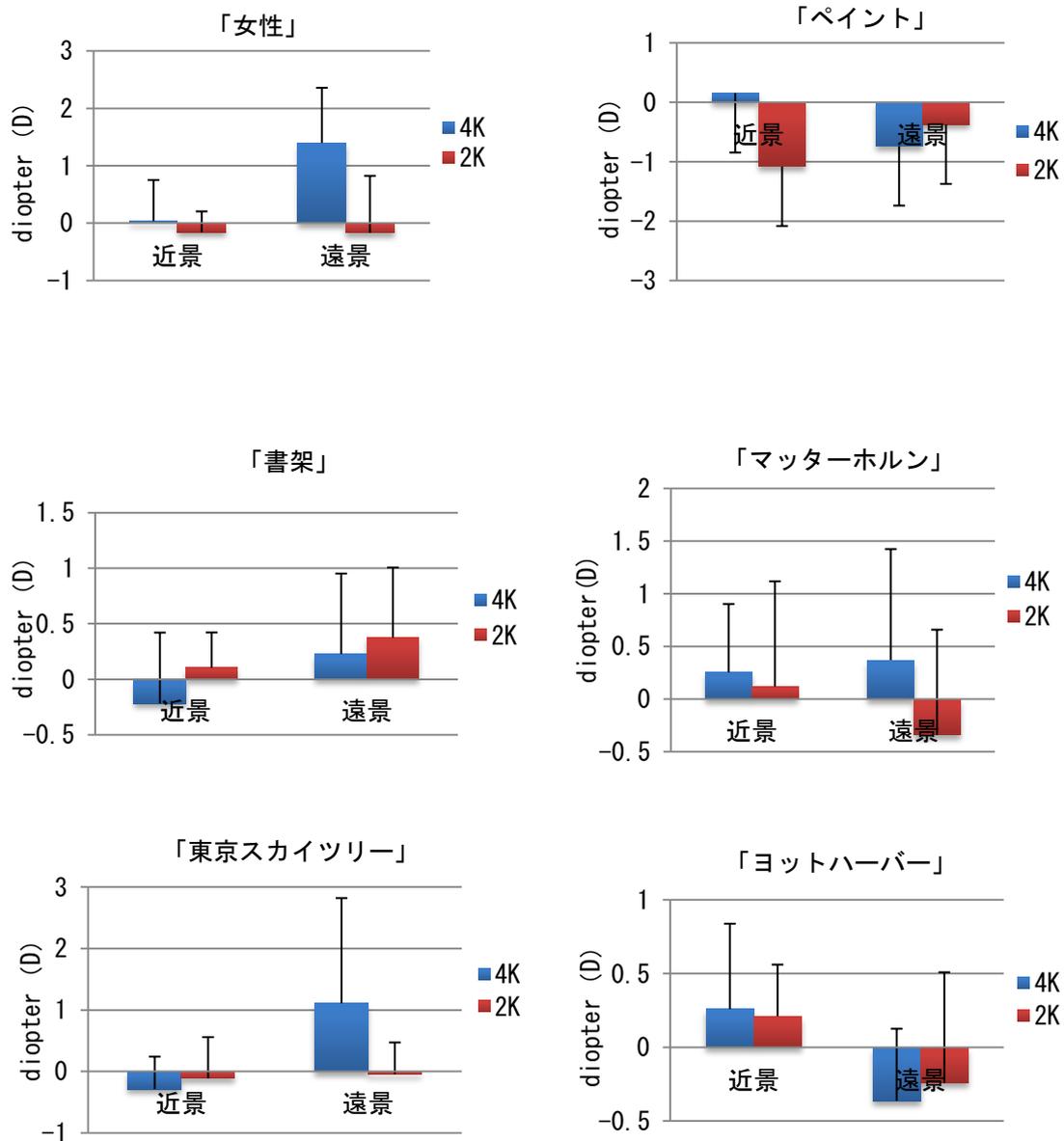


図 1.5.1-2 調節機能の変化量

### 1.5.2 考察

実験 1 の主観評価では、4K は 2K に比較して奥行きや立体感を感じるという意見が多かった。そこで、2K と 4K では観察時の輻輳運動や調節機能に違いがあり、4K は 2K と比較して、近景を観察する場合は輻輳と調節は画面より手前の方向に働き、遠景を観察する場合は画面より奥行き方向に働くのではないかと、という仮説を立てて実験 2 を実施した。しかしながら、輻輳運動では、近景の場合に 2K と比較して 4K のほうが画面より手前の方向に働く結果となったのは「マッターホルン」だけであった。「ペイント」、「書架」では

近景、遠景ともに、4Kの輻輳運動は2Kより画面の近くに働き、また「マッターホルン」と「ヨットハーバー」の遠景でも、画面の近くに働く結果となった。調節機能では、「書架」「東京スカイツリー」の近景では手前方向に、「女性」「マッターホルン」「東京スカイツリー」の遠景では奥行き方向に働き想定と合致したが、「ペイント」の近景、「書架」の遠景では逆の方向に働く結果となった。

以上より、輻輳運動については先行研究<sup>7</sup>と同様の結果が多数示されたことから、高解像度になることで細かい表示を認識しやすくなり、画面上に輻輳しやすくなったことが考えられる。一方、調節機能では、刺激によっては画面より離れることが多く、画像の内容、特に奥行き感と関連する空間構成要素の影響を受けたことが考えられる。

なお、今回は被験者数が3人と少なく、各刺激におけるデータのばらつきが大きかったことから、今後、更に検討を重ねる必要がある。

## 1.6 WG1 総括

全体として、4Kは2K(HD)と比較して有意に好まれると結論付けることができる。4Kになることで、質感・構造の認識が容易になり、立体感・奥行き感を伴ってコンテンツの理解に繋がることが分かった。ここでWG1の総括として要点を以下に列挙する。

- ・ 4K画像は2K画像より好まれ、解像度の向上は人の選好判断に影響を与える。
- ・ 4Kの近景から中景の画像において、質感の認識が「画面に手を伸ばしたい」、「触ってみたい」、「拡大したい」などの能動的な関与を誘発する。
- ・ 4K遠景画像において、立体感・奥行き感の認識が、「画像の構造が分かる」、「実物が目の前にあるように感じる」、「その場で自分の目で見ている感覚がする」といったいわゆる臨場感・没入感を喚起する。
- ・ カメラワークは臨場感・没入感を増幅させる効果がある。
- ・ 画像の観察時における心理的効果は高周波成分に影響を受ける。従って4Kは2Kより優位だが、例えば「女性」で示されたように、高周波成分のレベル(振幅スペクトル)が高くないと効果が期待できないことが確認された。
- ・ 4Kの「ヨットハーバー」のように、細かな表現が見えすぎることによる過度な鮮鋭感に対して不快感を示す被験者がおり、「見やすさ」「柔らかさ」といった新たな映像品質の評価指標が浮き彫りになった。

- 
- <sup>1</sup> W. Burquer, M. I. Burque : Principles of Digital Image Processing: Core Algorithms (Undergraduate Topics in Computer Science); pp.226-227, ISBN 978-84800-191-6, London, Springer (2009).
- <sup>2</sup> J. Radun, T. Leisti, J. Hikkinen, H. Ojanen, Jean-Luc Ilives, T. Vuori, and G.Nyman: Content and Quality: Interpretation - Based Estimation of Image Quality, ACM Transactions on Applied Perception; Vol. 4, No. 4, pp. 21 (2008).
- <sup>3</sup> 讚井純一郎: 商品企画のためのインタビュー調査 - 従来型インタビュー調査と評価グリッド法の現状と課題 - ; 品質, 33(3), pp. 13-20 (2003).
- <sup>4</sup>  $p < 0.01$  : P 値 (probability value) とは、条件間の観察結果にみられる差が偶然に生じ得る確率の値を意味する。 $p < 0.01$  の場合、条件間の差が偶然に生じ得る確率が有意水準 1% 未満を表す。なお、統計学では p 値が 5% 未満 ( $p < 0.05$ ) であれば有意な差があり、5% 以上 10% 未満 ( $p < 0.10$ ) であれば有意な傾向がある、と言われている。
- <sup>5</sup> 坂田晴夫: 視覚の特性 (テレビジョン画像の評価技術 (第 3 回)) ; テレビジョン学会誌、Vol.37、No.11、pp. 948-955 (1983)
- <sup>6</sup> 4K 画像注視時の輻輳眼球運動と調節の解析 ; 電子情報通信学会技術研究報告 114(171), pp. 19-24, (2014)
- <sup>7</sup> 高比良英朗, 横山優樹, 望月信哉, 山田光穂 : 4K 画像注視時の輻輳眼球運動と調節の解析 ; 電子情報通信学会技術研究報告 114(171), pp. 19-24, (2014)

## 第2章 WG2（4Kによる産業領域拡大に関する調査）

### 2.1 調査に関する検討要素、概要

WG2は、4K映像及び4K技術の産業応用展開の可能性を調査し報告するとともに戦略提案すること、を目的とする。このため、4K映像及び技術を既に取り扱っている組織を訪問し、対面調査により現状と問題点の聞き取りを行い、その情報を元に産業応用展開の可能性をWG2内で議論した。

調査に先立ち調査先を（1）教育（2）博物館・美術館（3）セキュリティ（4）産業（5）医療の5分野に分類した。これまで総務省分類（総務省、2013）が多用されてきたが、総務省分類は映像産業に重きを置いており、他の産業の状況を反映しにくい。そこで、今回は映像産業以外を対象とする中で、典型的な5分野を設定した。なお、現在「産業」と分類したものは、今後4K技術の普及に伴い、更に細分化されてゆくと思込まれる。

#### 2.1.1 調査先設定及び調査内容

調査先は、映像業界に関わる刊行物に掲載された記事及びWG2担当の各委員が持つ情報より選択した。140件の記事及び委員・事務局提案4件の計144件の調査先候補をWG2分科会にて検討した結果、19の調査先候補を選定した。調査先候補との交渉の結果、17組織に対面調査（ヒアリング）の理解を得た。調査対象領域の分類と組織一覧を表2.1.1-1に示す。

表 2.1.1-1 調査対象領域の分類と組織一覧

分類	事業領域
教育	初等から高等教育に至る教育でのツール及び、教育対象としての利用
博物館・美術館	博物館・美術館における展示及び研究での利用
産業用機器	産業用機器・部品（他の産業で利用されることを想定）としての利用
セキュリティ	映像による監視
医療応用	医療現場での応用
医療機器	医療現場でのツールとしての利用

組織一覧	
1	東京工芸大学 芸術学部 ゲーム学科
2	立教大学 現代心理学部 映像身体学科
3	日本科学未来館
4	株式会社内田洋行

5	株式会社ビュープラス
6	ソニー株式会社
7	バルコ株式会社
8	一般社団法人メディカルイメージングコンソーシアム (MIC)
9	株式会社 エクスプローラ
10	一般社団法人 電子情報技術産業協会 (JEITA)
11	大日本印刷株式会社
12	東京エレクトロン デバイス株式会社
13	公益財団法人四万十公社 四万十ケーブルテレビ
14	株式会社 NHK メディアテクノロジー
15	3DBiz 研究会
16	凸版印刷株式会社
17	アストロデザイン株式会社

調査対象先の各分野の特徴及び重点的な聞き取り事項は以下の通りである。

### (1)教育

初等<sup>8</sup>・中等<sup>9</sup>教育においては、80%以上の小中高等学校に地上デジタル放送受信が可能なテレビ装置が置かれている。また、一部で電子黒板<sup>10</sup>、タブレットの使用が実験的に始まっている。これらの装置を 4K 化した事例があれば、従来方式との教育効果の違いを聞き取る。高等教育<sup>11</sup>では、視聴覚装置の導入が盛んな映像制作関連学部にて 4K 化の利点、及び制作する作品に対する影響、教育方法の違い、などがあるかを聞き取る。

### (2)博物館・美術館

博物館、美術館では展示そのものを画像とするほか、説明板の電子化、タブレットによる「セカンドスクリーン」化が行われている。また、ホールなどで映像展示を行ってもある。大画面映像の利用も多く、高解像度映像では先駆的役割を果たしてきた。展示や説明板が 4K 化することへの意義はあるのか、またこれらを 4K 化するための作業に変化はあるのか、といった点を聞き取る。加えて、4K 化により博物館、美術館の展示は変わるのか、それとも現行の映像展示が置き換わるだけなのか、といった提示手法、内容の変化についても現場の声を聞く。

### (3)セキュリティ

セキュリティ分野では、監視カメラの高精細化が行われている。既に、2010 年には 1600 万画素の監視カメラが海外では導入されており、4K (800 万画素) 以上の画素数への関心も高い。監視カメラ分野では、カメラ-レコーダ間の伝送がデジタル化 (イーサネット<sup>12</sup>化) されて以来、画素数に対する制約が大幅に減少した。それまでのアナログ伝送では難しかった高画素数を指向する製品が増えている。高画素数化により期待される効果、監視

に与える影響などを聞き取る。

#### (4) 産業

産業分野では、画像認識に関わる応用を中心に調査する。画像認識は、生産ラインにおける位置合わせ、製品のキズ発見、良品・不良品判定などに使用されている。また、日常の空間でも、自動販売機（顔検出、分析機能付）や、デジカメ（人物検出）、駐車場の入退出管理（ナンバープレート認識）などに画像認識が用いられている。産業分野では、解像度の選択が自由であるため、4K といった特定の解像度に限らず、HD 以上の解像度を持った画像による新しい展望があるのか、高精細画像の利用で何が変わるか、といったアプリケーション側に現れる変化を聞き取る。

#### (5) 医療

医療では、遠隔診断及び手術における高精細画像の利用が期待されている。遠隔診断では、表情の違い、顔色などの微妙な変化を伝えることが期待できる。手術では、開腹手術及び内視鏡手術で実験が始まっている。実際に、高精細機器が導入された実験事例で何が利点とされたか、また問題点とされたかといった点の聞き取りを目指す。

## 2.2 調査結果と戦略的要素分析

調査先より聞き取った分野毎の状況と 4K 映像技術への期待、求められる改善点を以下に記す。また、4K を含む高精細映像の普及において、現在欠如しているとの指摘があった事項を元に、4K 普及振興に必要な事柄を示す。4K 普及戦略とは、前記の普及振興に必要な事項を包含するものとなる。

### 2.2.1 教育

教育分野中、初等中等教育における利用と高等教育における利用は全く異なるため、両者を分けて報告する。

#### (1) 初等中等教育における 4K 利用

初等教育において、4K 利用は事実上始まっていない。現在、小学校、中学校に地上波デジタル受像機が置かれているが、表示画素数はフルハイビジョン (2M = 1920×1080) 又はハイビジョン (1M = 1366×768) がほとんどである。NHK 放送文化研究所の調査（渡辺 & 小平、2013）では、2012 年の時点ですべての普通教室で地上デジタル放送が受信可能なのは 59%、中学校は 26.1% である。また、理科室などの特別教室の 1 箇所でも受信が可能であるのは小学校は 30.3%、中学校では 29.0% である。学校として、地上デジタル放送を受信可能なのは小学校の 92.9% (1 台でも受像機設置は 86.5%)、中学校の 90.9% (同 82.4%) であった。なお、同研究所は 2010 年にも同様な調査を行っているが、すべ

での普通教室で地上デジタル放送が受信可能な小学校は増加（46.0%→59.0%）しているが、中学校は減少（27.9%→26.1%）している。また、特別教室での地デジ受信可能率は、小学校、中学校とも減少（小学校：31.4%→30.3%、中学校：34.4%→29.0%）している。小学校、中学校という学校全体としてみれば、受像機は普及しているが、全教室での視聴ではなく、特定の教室又は職員室での視聴が伸びの要因とみられる。なお、デジタルテレビの平均設置台数は、小学校が10.3台、中学校が8.3台であり、全教室に受像機を設置している状況には程遠いことが分かる。

一方電子黒板は、小学校の70.0%（2010年61.5%）が保有しており、普通教室でインターネット接続が可能な小学校も66.4%（同62.8%）と増加している。ただし、普通教室で地上デジタル放送、電子黒板、インターネットの全てが利用できる小学校は、38.0%（同26.4%）であり、放送、通信を教室で自在に利用する状況には至っていない。

このように、ハイビジョン画素数までの環境は、デジタルテレビ又は電子黒板により実現されているが、4Kの導入が進んでいるとは考えがたい。ヒアリングにおいても、初等中等教育環境に4K環境（デジタルテレビ、プロジェクタ、電子黒板、PCモニター）が導入されているとの証言は得られていない。

#### (a) デジタル顕微鏡の4K化

初等中等教育における4K化提案の一つに「4Kデジタル顕微鏡」がある。デジタル顕微鏡とは、光学顕微鏡にデジタル動画カメラを付加したもので、接眼しての観察とディスプレイへの表示の両方が可能である。一部に、接眼部をなくし、デジタル出力のみのモデルもある。教育現場では、デジタル顕微鏡の出力を地上波デジタル受像機や電子黒板などの大型ディスプレイ装置に映し出している。従来の光学顕微鏡では教師が手本を一度に多人数には見せられなかった。教師が準備した像を観察するために児童生徒が交代で顕微鏡を覗いたが、これでは授業効率が低い。教師が手本を見せる演示は、デジタル化により大幅に進歩した。4Kデジタル顕微鏡を4Kモニターに接続して表示すると、従来のデジタル顕微鏡では判別できなかったものを映し出すことができ、児童生徒の理解を促進するとともに、理科に対する興味を増大できたという効果があったという。従来のデジタル顕微鏡の場合、一般的なカメラの表示画素数はフルハイビジョン（約200万画素）であるため、細部の組織構造の確認が困難であった。その際に対物レンズの倍率を上げ拡大すると、表示している範囲が狭くなってしまいう問題があった。一方、4Kデジタル顕微鏡の表示画素数は4K（約800万画素）であるため、試料全体を表示しながら、細部まで精細に表示することが可能となる。このように4Kデジタル顕微鏡を使用すると、ミジンコなどの微生物全体を表示しながら細部の組織構造を観察することができるようになった、という事例もあるという。高精細化で理解が進んだ好例と言える。

高等学校に入ると、顕微鏡実験授業の最頻帯が年間40~60時間（平均43時間）、最長で160時間という報告（兵庫県理化学会 理科実習教員研修会運営委員会,2010）もある。児童生徒と接触の多い機材だけに、高精細化による教育効果が期待される。やや古い報告であるが、2009年時点では教師が対物レンズに直接デジカメや携帯電話を当てて撮影している事例も報告（兵庫県理化学会 理科実習教員研修会運営委員会,2010）されており、現場

機材の早急な品質向上が望まれる。

## (b) タブレット・電子黒板の 4K 化

現在の初等教育用映像は、多くがアナログ映像のデジタル化もしくは SD (標準画質) 解像度のデジタル化とのことで、出力部分の高精細化のみではなく、コンテンツ自体の作り直しが必要との指摘があった。

また、各児童生徒がタブレットを使用して動画コンテンツを視聴する場合、ネットワークのトラフィックが問題となる。多くの地域では、教育委員会が管理するサーバ (クラウドの場合もあり) からストリーミングがなされるが、各学校への回線が太くないため十分な動画品質を与えることが難しいのではないかと指摘があった。前出の NHK 放送文化研究所の調査によれば、2012 年の時点で小学校の 50.2% (2010 年では 44.5%)、中学校の 54.4% (同 47.3%)、高等学校の 73.5% (同 62.5%) が光ファイバでのインターネット接続を行っている。光ファイバ接続ならば最低でも通信速度 100Mbps の回線に加入していると考えられるが、前出の調査では通信速度は記されていない。

学校におけるストリーミングの難点としては、同一地域では同一教材をほぼ同じペースで学習するため、アクセスに偏りが出ることが指摘された。40 人の教室で全員がユニキャストで 1Mbps のコンテンツを視聴するために接続すれば、それだけで 40Mbps を消費してしまう。100Mbps 回線が 1 本しかない場合、各学年で同時にネットを使うのは 1 学級としても、小学校、中学校ともにネットワークの限界を越えてしまう。

4K コンテンツでは、十分な画質を得るためには最新の符号化技術 HEVC<sup>13</sup>で圧縮しても 20Mbps が必要とされている。そのため、現在のネットワーク環境では 4K 化は非常に難しいと指摘を受けた。

## (2) 高等教育における 4K

映像制作の教育分野では、「観る」と「創る」は等しく重要なものとなる。しかし、映画・テレビジョンコンテンツの制作とゲームコンテンツの制作は、大スクリーン (例: 300 型以上) で多人数視聴を想定する映画と、小型スクリーン (高々 60 型程度) で 1 人 2 人の視聴を想定するゲームとでは、教育において異なる事項に関心が集まっていた。

映画を「観る」観点からは、35 ミリフィルムの上映画質と同等以上の画質を確保できる 4K に価値があるとの指摘があった。また、その場合、映画館並みのスクリーンサイズで鑑賞しなければ、本来の表現力を感じ得ないとの指摘もなされた。つまり、映画を学ぶためには映画館並みのスクリーンサイズでの学習が必要になることを示している。

4K 化により、アップの映像を撮ると従来は肉眼でも見られなかった細かなものが映し出されるようになる。この場合、視覚体験がどう変わり、メディアの表現領域の変化がどのような意味を持つのか、理論的な考察が求められ、大学がそれを研究する機関となるとの指摘があった。4K に適した、つまり、肉眼以上のものが見えてしまうシステムを用いた映像表現方法の開拓が求められている。現実を超越した 4K 独自の表現が可能になるため、新たな映像体系を拓けるとの希望が聞かれた。一方、高精細化に伴う別の難しさの指摘もあった。8K まで高精細化すると現行の撮像素子サイズではピント合わせ<sup>14</sup>が極めて難

しくなり、被写体の素早い動きに対応できなくなる。4K はスポーツ中継に使えるが、8K のためにはカメラマンの負担を減らす機器選択や技術の開発が求められるとの意見があった。

一方、ゲーム分野では、映画制作と異なる視点で高精細映像を眺めていた。現在、ゲームコンソールでの HD 対応は当然となっているが、ゲーム自体で 1080P (フル HD) の作品は少ないという。多くが 720P を採用している。これは、ゲーム機の CPU (演算) 能力をグラフィックスではなく、ゲームの内容のために用いる傾向があるため、と指摘があった。ゲームの中で、画面解像度はほんの一つの要素に過ぎず、ここだけが突出してもゲーム全体の品質に影響しないとのことである。ゲームの場合、視点移動が激しいことが多いので、4K が使えるようになっても細かな部分まで作り込まなくてよいのではないかと、この意見があった。それらを作り込んでも、利用者には見えず資源の無駄となる、とのことである。ゲーム制作のための 4K は、まだ可能性を模索し効果的な手法を開拓している状態にあるとみられる。

### (3) 教育分野からの要望

教育分野からは、各学校で 4K コンテンツの視聴が自由に行えるようなシステム開発、ネットワーク環境整備の要望が出された。また、4K 映像の使い手 (作り手) としては、映像制作の意図をメーカーに戻し、4K を活かす機材を開発して貰えるような状況が望ましいとされた。人材育成の面では、学生への報償が顕在化することを求められた。発表の機会の増大や、就業機会の増大により「4K を勉強した、すると良いことがある」と見える形になって欲しい、との希望である。

## 2.2.2 博物館・美術館

博物館・美術館の分野では、展示用及び説明用映像としての 4K と、4K 映像機器による美術品、文化財のデータ取得の二局面がある。前者は、主として来場者への映像情報提示用として用いられ、エンタテインメント的な要素も含んでいる。一方、後者は、研究者による調査研究用でありデータとしての色合いが濃い。そのため、本項でも展示用 4K 技術とデータ取得用 4K 技術を分けて報告する。

### (1) 博物館・美術館の展示

博物館・美術館には、比較的早くから HD を越える高精細映像が導入されている。ただし、シアター的上映での利用が多く、一般の展示に HD 超の高精細映像を用いる例は少ない。現在は、4K プロジェクション (投射) が可能な場所で用いられており、サイズを活かした展示がされているという。今後、投射を使った展示ばかりでなく、一般の展示の場所で使われるとの期待が示された。現状では、大型スクリーン映像をやや上方に提示し、その下に置かれた画面に細かな説明文書を示すことが多いという。大型スクリーンを一望しようとする観客はスクリーンから 10m 程度の距離に立つが、下の説明画面を読むためには 2m から 3m に近づかなければならないという。大スクリーンを観ている観客は、説

明画面が読み取れないことになる。4K による高精細映像の導入で、この位置関係に変化をもたらすことができるとの期待が示された。「樹形図のような細かな情報を 4K なら一望できるのではないか」との期待が寄せられた。また、地図に情報を重ねる際も 4K には期待できるという。

4K での展示を行った例に関する証言も寄せられた。美術品、文化財を映像展示する場合、静止画でも十分な効果が得られるという。従来は判別できなかったものが 4K 化で見えてきたものもあり、美術品収蔵館の学芸員から高い評価を受けた事例がヒアリング時に紹介された。4K の画素数があると、絵画を自然な距離に置いたときに、鑑賞に堪える絵となるという。電子的に拡大するのではなく、細部を見つめようとして近づいた（画面に顔を近づけた）ときに、描かれたものが明確に見えるのが 4K の良さであると指摘があった。ある巨大絵画の一部を切り出し、その部分を実物と同じ大きさで展示したところ、実物のように感じられた例も示された。このような「実物感」を持たせられることが、大きなメリットであるとされた。実物感、そして並行して得られる「没入感」を引き出すのは画素密度に要因があると思われる、との意見表明を得た。

今後、博物館・美術館の展示で考えなければならないのは、モバイルデバイス（特にタブレット）であるとの指摘もあった。モバイルデバイスの画素数、画素密度ともに急激に向上している。博物館・美術館で来場者の参加性に配慮した展示を行うためには、これらのデバイスは必須であり、同時に体験を来場者の記憶に残すためにも活用できる、との指摘を得た。

博物館・美術館の展示面からは、画素数よりも画素密度が大切である旨の指摘もあった。たとえば、従来ディスプレイの制約で日本語のルビを振れないことが多い。しかし、画素密度を向上させることでこれは解決する。これまでルビを振ることができなかった画面サイズでも、高画素密度表示となればルビの表示が行える。日本の印刷文化継承の観点からも、ルビを振ることができるディスプレイには意義があると考えられる。

## (2)文化財のデジタル化

文化財のデジタル化については、展示とは異なる視点からの指摘を得た。展示においては、脚色が許されるが、文化財をデジタル化した場合は、極力データの加工を行わないことが強調された。データ取得対象に物理的な欠落がある場合、データ上で補填を行うこともあるが、正確性の吟味の上で行われる、との説明を受けた。

絵画は、カメラのような光学系を用いて撮影する場合と、スキャナのような走査によりデータ取得する場合がある。また、立体物は 3D スキャナでデータ取得し、同時に表面の色情報についても様々な方法を用いて正確なデータを取得する、との説明がなされた。

現在、4K 解像度を想定して取得するが、今後 8K、16K と増えることを否定しない、との意見があった。また、現在の技術で撮影したにもかかわらず、長き将来にわたって利用できる保証はないとも考えられる、との意見もあった。これは、10 年前の高級デジタルカメラの映像が、現在では十分な画質と感じられないことを根拠にしている、とあるヒアリング先は語った。

### (3) 博物館・美術館分野からの要望

映像展示の立場からは、4K 制作を依頼できるプロダクションがまだ多くないことが指摘された。また、4K 以降は順次走査（プログレッシブ・スキャン）となるため、HD までのコンテンツは、放送用に制作されたものは飛び越し走査（インターレス・スキャン）であるため使用する現場では走査方式の混在が問題になることが少なくない。方式を統一するために方式間での変換が行われるが、この変換に関する理解が広まっておらず、納品された素材が正規の変換を受けていないこともあったという。4K に対応したプロダクションの増加とともに、順次走査に対する理解を拓く必要がある。

また、素材を扱う立場としては、デジタルシネマ用の画素構成（4096×2160）とテレビ用の画素構成（3840×2160）の2種類があることに苦言が呈された。

文化財データを取得する立場からは、メディアの安定性に対する不安が寄せられた。現在のデジタル用メディアが、映画フィルム並みの耐久性（例：100年）があるのか実証されていないことに対する不安である。加速試験では保存条件によっては100年を超える寿命が推測【財団法人 機械システム振興協会、2007】されているが、場合によっては短期間に寿命に達することがあることも報告されている。その結果、定期的にデータを読み出し、別の媒体に書き込むというコピー作業が必要になってくる。日本の放送業界では、LTO<sup>15</sup>が多用されているが、LTOの世代が進むとメディア変換の必要が生じている。文化財データを取得する立場からも、このようなバックアップ作業は負担であり、国宝及び重要文化財のデータに関しては、国家による支援を求めるとの声があった。

更に、文化財のデジタルデータに関しては、真正さを保証する体制が必要ではないか、との指摘もWG2委員から挙げられた。特に、文化財デジタルデータとして一旦揃えられた後に、何者かがデータに加工を行う改ざんが行われていない保証を行う体制、生データ取得の際の方法・方式を検証できる体制が望まれると指摘があった。

## 2.2.3 セキュリティ

セキュリティ分野で画像を使用するのは、監視カメラである。映像フォーマットが、放送用フォーマットに従っていた時代は、NTSCもしくはPAL/SECAM信号をVTRに録画するものだった。放送用以外のフォーマットを希望しても、装置が入手できず、実用化を諦めるしかなかった。しかし、デジタル化により解像度は自由になり、インターフェースもイーサネットが使えるようになり柔軟性が増した。監視カメラの4K化を中心にヒアリングを行った。

### (1) 監視カメラ分野の状況

4Kもしくはそれ以上の画素数を持つ監視カメラは、2010年頃より市場に現れている。例えばカナダのAvigilon社は2010年の時点で1600万画素カメラ（写真2.2.3-1）を商品化しており、現在は2900万画素カメラまで製品種を拡大している。

画素を増やすことのメリットは、広角で撮影した画像の中から注視点（ROI : Region of Interest）のみを拡大しても十分な情報が得られることにある。これが、200 万画素程度の画素数であると、ROI を拡大すると画像の詳細はブロックの中に埋もれてしまい、有効な情報を得られない。更に、このような利用では注視のためにカメラを回転させた後ズームをする必要がない。従来の PTZ<sup>16</sup>カメラでは、注視している間は注視点以外の部分は全く記録されておらず、複数の事象に対応できなかった。高画素型のカメラならば、全体の取得を続けながら、注視が可能だ。一箇所を注視していたため、他の場所での事象を見落

とした、ということが起きない。また、カメラに可動部がなくなることで、メンテナンス性が高まるという副次的効果も得られる。監視可能距離も伸びるとの指摘もあった。例えば、現在のカメラが何十メートル先までの人間を見分けられる場合、4K ならばそれよりもかなり先にいる人でも見分けが可能、という性能向上が語られた。

また、高精細画像を取得することで、ビデオ・アナリティクス（画像解析）に的確な情報を送れるメリットも生ずる。最近の監視カメラの利用は、監視員がモニタを見つめるのではなく、画像解析ソフトウェアが自動的に方向に移りつつあると、ヒアリング先からも指摘があった。従来は、監視カメラで撮影した映像を記録しておき、何らかの事象（事件）後に再生して対応するという使い方であった。これが、起きている事象に即座に対応するリアルタイム型になりつつあり、そのためにビデオ・アナリティクスの重要度が急速に増しているとの指摘である。自動解析のためには、高品質の画像データをもたらさなければならない。また、顔認識<sup>17</sup>には最低でも顔の幅方向に数十ピクセルの映像が撮れている必要がある。具体的なピクセル数には議論があるが、一般に顔の水平方向に 40 から 80 ピクセル [AXIS Communications]とされている。高精細化により認識可能な状態が増える。ヒアリングにおいても、アナリティクスの重要性は繰り返して示された。たとえば、監視員がモニタを眺めるタイプの監視では、監視員の疲労や注意散漫により監視品質は 20 分で低下するとのことであり、良好な監視は期待できないという。カメラの側である程度の前処理を行い、リアルタイムアナリティクスにより発報することが可能になるという。

監視カメラでは、接続にイーサネットを用い、IP（インターネット・プロトコル）に乗せて映像信号を伝送する。IP に乗るようになったため、解像度が異なるカメラを混在させることも容易に行える。また、すべてがデータ化されるため、前出のアナリティクス結果や前処理結果は、メタデータとして画像データと並行して送付できる、との解説がなされた。

4K などの画素数の多い監視カメラは、製品設計上感度とノイズのバランスが難しいとの指摘もあった。これは、4K 用撮像素子の感度が十分でないと解釈できる。感度が低い



写真 2.2.3-1 Avigilon 社の 16M 画素カメラの全体画像（左上）と ROI 注目画像（右上・左下）（2010 年撮影）

場合、増幅を掛けるが、これは同時にノイズも増やしてしまう。今後、高感度の撮像素子を用意する、光学系を改良する、といった対策が必要になるとみられる。

従来の監視カメラでは、面的にある場所全体を「見張る」ことを顧客が求めても、実際に行えているのは点の監視だった。4K 化により面的監視が実現し、監視品質が向上するとヒアリング先から指摘があった。

## (2) セキュリティ分野からの要望

4K に代表される大画素数型のカメラを販売するにあたり、実際にカメラ運用を計画し、機器を設置するシステムインテグレータの考え方が追いついていない、とヒアリング先から指摘があった。現在、日本の監視カメラでは、注視点を先にメモリに収めておき、ボタン一つで PTZ カメラがそこへズームするといった設計も多い（特に、パーラ<sup>18</sup>監視用）。この考え方では、広角連続撮影の考え方とは相容れず、システム設計上の混乱も生じかねないという。システムインテグレータの 4K 対応教育が必要とみられる。

また、ヒアリング先からは、監視カメラ設置基準が高画素数広角監視に向いていないとの指摘もあった。事項の性質上詳細な説明を頂くことはできなかったが、監視カメラの密度などが指定されていると思われる。

## 2.2.4 産業

産業での映像利用として、取得、処理（加工）、出力の 3 段階があることから、本稿はそれぞれの段階に関わる組織からのヒアリング結果を報告する。

### (1) 産業界における画像取得 (Acquisition)

#### (a) 画像取得に関わる状況

製造ラインなどで画像認識を行うカメラは、32 万画素（640×480 程度）から 880 万画素（4096×2160）程度まで種々のものが使用されている。メガピクセル級と称して、100 万画素を超えるもの（例えば、1280×1024）も投入されており、ハイビジョンを超える 300 万画素級の産業用カメラも存在する。フレームレートは、毎秒 60 フレームが多いが、880 万画素の製品は毎秒 20 フレーム台程度に低下している。これらは、産業用カメラの業界では標準的な GigE (Gigabit Ethernet) 又は USB3.0 を使用しており、伝送帯域幅を確保できないのが原因とみられる。なお、採用社数は少ないが 6.25Gbps を達成できる CoaXpress 方式 [CoaXpress Consortium, 2011] のインターフェースを持ったカメラでは、1260 万画素 (4096×3072) でありながら毎秒 167 フレームというものもある。HD-SDI<sup>19</sup> やそれ以上の伝送速度を持つ SDI 系インターフェース<sup>20</sup> を複数本並列に使用して速度を得ている映像制作用のカメラに比べて、伝送部分の帯域（スループット）がフレーム数に大きく影響しているようだ。なお、同様なフレームレート低下の傾向は監視カメラにもあり、800 万画素機では毎秒 60 フレームを達成している製品は発見できなかった。

製造ラインでの画像認識は、位置合わせ、キズ発見、大きさ判別、不良品判別など多岐にわたるが、単純な位置合わせではアナログカメラがいまだに用いられており、開発側及び利用側はこれで満足していると指摘があった。一方、高度なデジタル処理が必要な認識では、画素数を高める傾向にあるという。また、一つのカメラで広い角度で画像を読み取り処理することでコストダウンにつながるアプリケーションもあるとされた。例えば、

写真 2.2.4-1 では、英国ロンドン市における渋滞税 (Congestion Charge) 徴収用ナンバープレート認識用カメラを示している。中央分離帯に立つこのカメラポールは、各車線用にカメラが備えられている。しかし、広角でありながらも画素密度を確保できる画素数の大きなカメラを用いれば、カメラの数を削減できる。画像認識を高精度に行うための指標は、直感的な画素密度で記される例もある。たとえば、文字認識のためには「縦方向に 15 ピクセル」以上で取得される必要がある、といった記述[AXIS Communications]がなされている。産業用画像認識で画素数を増やすのは、カメラ数の削減を狙ったの面が大きいとの指摘を受けた。同時に、これは製造ラインなどでカメラのために要する体積を削減でき、ラインの効率を高めるともいう。



写真 2.2.4-1

産業用に製品化されているカメラのカタログによると、画素数が増えると感度が低下する傾向が見られる。例えば監視用カメラの場合、ある製品では 200 万画素までのモデルは最低照度 1 ルクス以下であるが、800 万画素モデルは最低照度に 1 ルクス以上を要している。すべての監視カメラの 200 万画素超のモデルで感度が大幅に下がっているわけではないが、同じ口径で比べた場合、画素数が多いモデルでは感度がやや低い模様だ。産業用の場合、工場のラインなどの場面では照明の設置が制限されることは少ないが、従来機器からの置き換えのためには同等程度の感度が望まれるとみられる。

## (b) 画像取得に関わる要望

この分野の複数のヒアリング先から、光学系の改善要望があった。現在の産業用カメラのレンズは、200 万画素程度までを想定して設計・製造されているものが多く、より多い画素数の撮像素子の能力を引き出していないとの指摘があった。レンズの性能が画素数に追いついていないとの指摘は、解像度、収差での対応が不十分であることを指しているとみられる。また、周辺光量の低下も問題となるはずである。周辺光量については、レンズによる改良のみならず、撮像素子の形状自体を改良する[木村雅秀, 2014]方法もある。更には、計算写真学 (Computational Photography) 的方法での画質改善もある。産業用カメラとしては、光学系は廉価なものが求められており、ズーム全域で目標解像度を達成する映画・放送用レンズの手法は用いられない。産業用カメラでは C もしくは CS マウントが標準的であり、このマウントに準拠したレンズ開発が求められている。

感度に関しては医療分野（2.2.5にて詳説）でも強い要望が出されているが、産業用においても200万画素撮像素子と同程度の感度の達成が望まれており、技術開発の重点分野の一つと位置づけられる。

## (2) 産業界における画像の処理 (Processing)

ここでは、入力された画像に何らかの加工を施す処理を「画像の処理」として扱う。ノイズ除去、細線化、特徴抽出といった画像処理のみならず、拡大縮小、反転、複数画像の一括提示などの処理も含めるものとする。また、別種の処理として、MPEGに代表される高能率符号化も画像の処理として扱うものとする。

### (a) 処理に関わる状況

4K画像の処理は、テレビ受像機において種々のものが行われているが、実装はハードウェアの場合もソフトウェアの場合もある。ソフトウェアを用いる場合、GPUを装備し、グラフィックス処理能力を高めたPCが用いられている。ハードウェア処理の場合、専用画像処理機能を開発するか、FPGA<sup>21</sup>による回路形成により処理することになる。

リアルタイムの符号化及び復号については、2015年初頭の時点では復号はハードウェア、ソフトウェアが入り交じっている。符号化は多くの製品でハードウェアを用いている。復号は、テレビ受像機やSTB<sup>22</sup>などといった宅内利用の機器ではハードウェアが用いられ始めているが、携帯機器（スマートフォン、タブレット）ではソフトウェア処理が目立つ。4K動画のデコード能力を持った携帯電話・タブレット用SoC<sup>23</sup>（システムLSI）を、米国、台湾のメーカーが販売している。

国内では、FPGAを用いた4K用CODEC<sup>24</sup>装置が販売されている。4K映像を扱う装置でLSIの開発費の回収が可能となる程度の大量生産が見込めるものは、テレビ・STB用デコーダ、カムコーダ用CODEC、スマートフォン・タブレットなどの限られた品種となる。他の製品への実装を企画した場合、カムコーダ用CODECプロセッサを流用するか、FPGAを用いて独自に回路を実装する必要がある。また、符号化方式はHEVCなどの国際標準を用いつつも、伝送レートの制御などで独自の機能を実装する場合にもハードウェアを自主開発する必要が出てくる。この場合も、FPGAが使われる。更に、HEVCプロセッサの開発などでもFPGAが用いられており、4K関連開発の現場ではFPGAの利用が一般的となっている。この状況に鑑み、多素子を収めたFPGAと入出力インターフェース、そして大容量のメモリを搭載した開発用プラットフォームが市販されている。それまでは、FPGAを用いた開発は一品生産の色合いが濃かった。CODEC用LSI開発時には、開発したIPコア<sup>25</sup>（回路）を実機に近い速度でテストするが、このときにはIPコアをFPGAに導入して実施する。このためのテスト用FPGA基板も特注にて作られることが多かった。しかし、現在では、画像関連開発用に市販されているFPGAボードを用いることができるため、製品開発はプラットフォーム登場以前に比べて加速していると指摘があった。FPGA利用の開発用プラットフォームは、LSI開発、及びFPGA利用の4K関連製品開発の双方に寄与している。

## (b) 画像の処理分野からの要望

プラットフォーム開発及び、4K 用画像関連製品開発を行う複数のヒアリング先から強い要望として出されたのが「I/O 方式の統一」と「シングルケーブルでの非圧縮信号伝送」であった。



写真 2.2.4-2 DisplayPort に関する展示

I/O 方式の統一とは、HDMI<sup>26</sup>と DisplayPort<sup>27</sup> (写真 2.2.4-2 参照) が存在することを念頭に置いた指摘で、機器開発側としてはどちらかを選択、又は両方式の搭載を迫られるという。処理機器を開発する立場では、選択のために悩みたくはないし、両方式を搭載することで価格を上げることも行いたくない、という思いがあると状況が説明された。なお、映像制作用では 3G-SDI (SMPTE<sup>28</sup> 424M) の他に 6G-SDI、12G-SDI がある。6G-SDI 及び 12G-SDI の両方式は、従来方式

に対して下位互換性を維持しているため、最上位の方式を実装すれば問題はない。

シングルケーブルでの非圧縮伝送とは、たとえば 4K を毎秒 120 フレームで運用する場合、4:4:4/12 ビット<sup>29</sup>とすると 48Gbps が必要となり、12G-SDI でも 4 本利用することになることを指す。ケーブルの挿入箇所を間違えると正常な伝送は行えない。これが現場での機動性を著しく損ねており、この点を改良する必要があるとの指摘を複数のヒアリング先が述べている。映画の場合は全てが整った状況で撮影を始めるが、放送では突発的な事態への対応もあり、準備に時間を掛けられない。それゆえ、マルチケーブルの使用が必要な現状では誤りの混入を招き、それが 4K への抵抗 (障壁) となり得ると指摘があった。一般の人々が 4K を扱う場合も、マルチケーブルが障壁になることは十分に考えられる。

HDMI と DisplayPort は、複数の端子を持つが、SDI 系のインターフェースは BNC コネクタを用いており、これが伝送速度を制約する原因の一つとなる。一端子での伝送は、10Gbps 前後で限界とみられるが、SMPTE では 24Gbps までの SDI 方式 (同軸) の標準化作業<sup>30</sup>が行われている。複数のヒアリング先は 10Gbps を超える速度を実現するコネクタに疑問を呈しており、24Gbps の同軸伝送が現実的な価格で行えるか状況は不明である。

SMPTE では、24Gbps のオプティカル SDI 方式を ST2083-2 にて標準化作業<sup>31</sup>を行っている。しかし、これも毎秒 120 フレームの 4:4:4/12bit 4K 画像の伝送では 2 本のケーブルを要する。4:4:4/12bit の 8K 画像を毎秒 120 フレームで伝送する場合、8 本の光ケーブルが必要となり、プロの制作現場でも、その取り回しの困難さは想像に難くない。更に、研究者などの映像制作のプロではない人々が 8K 画像を扱う際は、より大きな障壁となって立ち上がると思われる。掛かる状況に鑑み、複数のヒアリング先より、SMPTE 規格案の上に行く「シングルケーブル非圧縮伝送」方式の開発を日本が先導すべきとの提言があった。我が国では、NHK 放送技術研究所がスーパーハイビジョン (UHDTV2) 用に光インターフェースを開発している [添野, 2014]。この方式は ARIB<sup>32</sup>にて ARIB STD-B58 として標準化されているが、国際的に認知を得るための活動はこれからである。また、廉

価な民生版開発の動きは見えないとの指摘が相次いだ。ARIB STD-B58 を基本に、PC を含む世界の UHDTV 機器に搭載できる光インターフェースを開発すれば、波及効果は極めて大きいと考えられる。

### (3) 産業界における画像出力 (Display)

#### (a) 画像出力の状況

4K ディスプレイは、CAD とシミュレーション分野を中心に導入が盛んであるとの指摘があった。特に、自動車分野ではデザインレビュー用に画素密度向上への要望が強いとの証言がある。幅が 6m から 7m の大スクリーン (300 型程度) に投射するため、より高い画素密度が求められるという。

また、シミュレータ分野では、標識の識別、目標の識別のために表示品質が規格化されている分野があり、ここでは画素密度の高さから 4K プロジェクタが求められているとも指摘された。HD プロジェクタを 4 台使用すれば 1 台の 4K プロジェクタに近い画素密度が得られるが、装置が複雑、大型化してコストも高まる。実装のためにも 4K プロジェクタが現実的と指摘があった。

定期航空便操縦士などが使用するフライトシミュレータ<sup>33</sup>では、地表の目標物を表示する際は、シミュレータ内の利用者から見て 2 分角 (2 arc minutes) 以下と国際標準[ICAO 2009]にて規格化されている。同じ規格で、地上の光点は 5 分角以下とされている。自動車の運転シミュレータの場合、3 分角以下が求められるという。これら以外の分野では、8 分角から 10 分角が要求水準といい、航空と自動車の分野で画素密度への要求水準が高いことが分かる。

#### (b) 画像出力分野からの要望

画像出力分野からは、目立った要望は寄せられていない。機器間インターフェースの簡略化は、出力分野からも歓迎されるものと期待できる。

## 2.2.5 医療

### (1) 医療分野の状況

手術時の高解像度画像利用が試行されている。従来の脳神経外科手術では、術者と助手のみが顕微鏡の立体像を見られるが、他のチーム員は 2K ディスプレイで手術状況を確認してきたという。また、医療教育用にも、この 2K 画像が使用されてきた。脳神経外科分野では、4K 立体視が試用され、術者と助手が使用する顕微鏡の映像 (左目、右目の両方を使用する顕微鏡) を立体化してチーム全員が偏光方式の 4K ディスプレイで確認できる状況が作られた。立体視ディスプレイを用いた手術は、法的制約から現時点では研究用の試行となる。4K 立体視では HD (2D) と比べて手術部位が明確に捉えられ、奥行き感も得られた点が評価された、との証言がなされている。

内視鏡 (腹腔鏡) に超高精細カメラを取り付けて手術を行うことも実験されている。HD

では見えなかった癌や血管が見える、内視鏡とディスプレイを組み合わせて顕微鏡のように使えるとの証言が得られた。手術を行う際、医師は標準視距離（画面の高さを  $H$  で示し  $HD$  では  $3H$ 、 $4K$  では  $1.5H$ 、 $8K$  では  $0.75H$  とされている）よりも近づいて使用すること、一般の映像視聴とは使われ方が異なる。開腹手術における実験については、術者の手技を手術室に同席していなくても高解像度画像により習得できるため、教育利用に効果が大きいとも指摘があった。

内視鏡手術、開腹・開頭手術とも、高精細な画像が残ることの教育効果は等しく認められていた。また、内視鏡手術では、高い精度で神経、血管を見つけ出せることから、病変の発見を容易にし、手術の精度を高めると指摘された。

手術以外の分野では、遠隔診断に  $4K$  の利用が試行されている。遠隔診断分野での利用を想定した CODEC 装置が開発されている。この分野では、低遅延が強く求められているとの指摘があった。

$4K$  に代表される高精細画像の利用で、手術の精度が高まるとともに、高度な医療が場所を選ばずに普及すると期待できる。

## (2) 医療分野からの要望

カメラの小型化、光学系の改良及び高感度化の要望が寄せられた。

カメラの小型化は、手術室での取り回しのために必須とされる。現在、重量  $2\text{kg}$  程度の超高精細カメラが内視鏡手術の際に使われているが、より小さなカメラにして取り回しを良くして欲しいとの要望が示された。

光学系の問題は、被写界深度が浅いことにある。ピントが合う範囲が極めて狭く、僅かに前後にある対象はぼやけてしまう。これは、手術などの細かな作業にとっては大きな問題となる。広い範囲でピントが合う作りが必要であるとの指摘を得た。現在の多くの高精細カメラは、撮像素子が太判であり、被写界深度が浅くなる。撮像素子の大きさと併せて、検討が必要な課題と見られる。

撮像素子の感度低下は、照明に制約がある環境下、特に内視鏡下では大きな問題であると考えられる。撮像素子の出力を単純に増幅してもノイズが増えてしまい、 $SN$  比は高まらず、細かな病変の発見などには向かない。現在の  $2K$  用  $200$  万画素撮像素子と同サイズで画素数を  $800$  万画素程度に増やした場合、 $1$  画素の面積は  $4$  分の  $1$  程度になり、光が当たる面積も小さくなる。シリコン半導体による光電変換では出力が不足することも考えられ、新しい素材もしくは、新しい素子構造の研究が必要であるとの指摘がなされた。新素材を用いた撮像素子の高感度化は、基礎研究に近い面がある。素材の発見から量産技術の確立まで、多くのステップを踏むことになる。息の長い研究開発となるため、企業の努力だけでは完遂し得ないことも十分に考えられる。そのため、研究には国の支援が望ましいとの声も同時に寄せられた。

### 2.2.6 WG2 調査結果要点の整理

以上の調査結果要点を整理した表 2.2.6-1 を以下に掲載する。

分野	教育		博物館・美術館		セキユリテイ		産業		医療		映像コンテンツ制作		
	ツール/学習コンテンツ	映像展示/文化財データ化	映像展示/文化財データ化	セキユリテイ	監視システム	生産管理	画像認識	手術・遠隔診断	映像コンテンツ制作	TV映画/ゲーム			
入力デバイス(カメラ/レンズ/センサー)													
拡大(望遠)	○デジタル顕微鏡/望遠鏡	○データ取得スキャン	○データ取得スキャン	○データ取得スキャン	○監視カメラ	○産業用カメラ	○内視鏡、手術顕微鏡	○撮影					
標準		○データ取得スキャン				○産業用カメラ		○撮影					
広角		○データ取得スキャン						○撮影					
表示デバイス													
タブレット	(これから)	(これから)	(これから)				○	○					
PCディスプレイ	(これから)			○			○	○					
TV	○			○			○	○					
説明電子板/サイネージ	(これから)			○			○	○					
プロジェクター小規模	○			○			○	○					
プロジェクター中規模				○			○	○					
プロジェクター大規模				○			○	○					
他技術要素													
開発用ボード(FPGA)							○						
伝送方式、帯域)	○						○						
画像処理							○						
WG2調査													
4Kの現状	・HD/TVの利用がメイン ・ICT活用はこれから ・4K導入は現状無し	・4K導入は積極的	・4K導入はこれから	・4K導入はこれから	・4K導入はこれから	・4K導入はこれから	・4K導入はこれから	・4K導入はこれから	・4K導入はこれから	・4K導入はこれから	・4K導入はこれから	・4K導入はこれから	
各分野での特徴的要素	・初等教育では映像を見る ・高等教育では映像を創るも加わる	・データ取得とデータ展示の2局面 ・解像距離は様々 ・タブレット活用の可能性	・データ取得とデータ展示の2局面 ・解像距離は様々 ・タブレット活用の可能性	・データ取得とデータ展示の2局面 ・解像距離は様々 ・タブレット活用の可能性	・データ取得とデータ展示の2局面 ・解像距離は様々 ・タブレット活用の可能性	・データ取得とデータ展示の2局面 ・解像距離は様々 ・タブレット活用の可能性	・データ取得とデータ展示の2局面 ・解像距離は様々 ・タブレット活用の可能性	・データ取得とデータ展示の2局面 ・解像距離は様々 ・タブレット活用の可能性	・データ取得とデータ展示の2局面 ・解像距離は様々 ・タブレット活用の可能性	・データ取得とデータ展示の2局面 ・解像距離は様々 ・タブレット活用の可能性	・データ取得とデータ展示の2局面 ・解像距離は様々 ・タブレット活用の可能性	・データ取得とデータ展示の2局面 ・解像距離は様々 ・タブレット活用の可能性	
4Kのメリット・期待感	・デジタル顕微鏡で細かい部分がよく見える ・生徒の興味増大 ・4Kによるメテオ現象の変化の意味と考察は大学のテーマ ・新たな映像体系を拓く可能性への期待感	・大型スクリーンに複数情報表示(例:美術品とその説明文) ・より細かい表示の可能性 ・(タブレット含む)画面に近づいて鑑賞する際の品質の実現 ・実物感、没入感と画素密度への注目	・解像度向上のメリット ・点の監視から面の監視へ ・広角撮影した画像の中から注視点拡大 ・記録漏れ対策 ・PTZカメラから広角カメラで固定	・アナリティクス(画像解析)自動処理による監視支援のニーズ増大 ・カメラ感度/SMN ・監視カメラ設置基準の見直し ・SIとの意識合せ	・高解像度のカメラという意味では先駆的領域 ・開発用ボードFPGAの4K対応	・シミュレータシステム の表示に関する要求水準と画素密度	・手術の情報共有時のリアルタイム、教育効果向上 ・手術精度、病変発見の向上 ・より高解像度を期待する声 ・場所を選ばない高度医療実現への期待	・カメラの小型化、高感度化 ・遠隔診断時の遅延低減の必要性	・プロダクション制作力 ・ピント合せの難				
4Kに関する課題	・ネットワークの回線・環境面で4Kは厳しい ・視点移動の多いゲーム制作での作り込みの効率化 ・4K習得への動機付け	・将来も4Kで十分かという懸念 ・制作プロダクションが少くない ・データ保全とバックアップ	・将来も4Kで十分かという懸念 ・制作プロダクションが少くない ・データ保全とバックアップ	・将来も4Kで十分かという懸念 ・制作プロダクションが少くない ・データ保全とバックアップ	・将来も4Kで十分かという懸念 ・制作プロダクションが少くない ・データ保全とバックアップ	・将来も4Kで十分かという懸念 ・制作プロダクションが少くない ・データ保全とバックアップ	・将来も4Kで十分かという懸念 ・制作プロダクションが少くない ・データ保全とバックアップ	・将来も4Kで十分かという懸念 ・制作プロダクションが少くない ・データ保全とバックアップ	・将来も4Kで十分かという懸念 ・制作プロダクションが少くない ・データ保全とバックアップ	・将来も4Kで十分かという懸念 ・制作プロダクションが少くない ・データ保全とバックアップ	・将来も4Kで十分かという懸念 ・制作プロダクションが少くない ・データ保全とバックアップ	・将来も4Kで十分かという懸念 ・制作プロダクションが少くない ・データ保全とバックアップ	

表2.2.6-1 WG2調査結果要点一覧

## 2.3 WG2 総括

ヒアリングにより、4K 映像技術の利用は各分野で粛々と進行していることが把握できた。ヒアリング先のいずれもが、「4K を使用する」ことを目的としているのではなく、自業務の目的を達成するために現行の HD 以上の高精細画像が必要であり、そこに 4K 技術があったため利用している、という立場であった。今後、HD 画素数では目的達成に不足を来す業界・業種では 4K の利用が拡大することを示唆している。

同時に、ヒアリングに協力頂いた各組織が、自らは解決が難しい種々の問題に直面していることも明らかになった。これらの問題点は「希望」との形で、ヒアリング結果内にまとめられている。これらの問題点が解決することで、4K 映像技術は各方面がより容易に利用できるものとなることから、WG2 としては、問題点を除去することこそが 4K 振興の中核に位置すると確信する。

### 2.3.1 問題指摘と解決策

本項では、ヒアリングで得られた 4K 利用上の問題点指摘を整理し、解決策を考察する。

#### (1) 教育分野が抱える 4K 利用の問題点と解決策

日本の初等中等教育分野では、4K 導入は事実上始まっていない。テレビ受像機としての 4K 機は、全教室に普及する価格になるには時間が掛かる。また、高画素密度のタブレットで実物感あふれる映像を用いた学習を行おうにも、教室又は学校のネットワークインフラに十分な容量がない。一方で、教育面でデジタル化の効用が認識されている顕微鏡は 4K 化の動きがある。同様の空間解像度の向上という観点からは天体望遠鏡などについても同じ動向が期待できるだろう。更には時間解像度向上の観点から高速度カメラも 4K 化と相まって学習効果向上に貢献すると考えられる。このように種々の有効な観点があるため、全国同一のペースですべての機材が揃うのではなく、地域毎に力を入れている科目、分野から浸透が始まると期待される。

高等教育の現場には 4K が入り始めており、先駆的な機関は有効に利用している模様である。4K を用いて学習した学生への評価が高まるような体制が欲しいとの要望があった。

初等教育分野では、まず廉価な 4K モニタが特別教室（理科実験室など）に設置される状況が望ましい。4K 放送の受信能力（衛星放送受信機能、HEVC デコード機能など）は不要である。また、HD 信号を入力した際、美しい 4K 映像を提示するための高画質化回路も不要である。デジタル放送の受信機能と 4K モニタとしての機能があれば、教育用には十分に利用できる。既に米国では、55 型の 4K 入力対応テレビ受像機（入力信号は 4K@60P まで対応。4K チューナは搭載しない）が \$1100 程度 [Amazon.com, 2015] であり、今後本邦における価格低下は十分に見込める。

学校内で 4K タブレットなどにより HD もしくは 4K コンテンツを利用しようとした場合、現在のネットワークインフラでは対応が難しい。教室内の無線 LAN をより高速な規格（IEEE802.11ac 等）に刷新することと並行して、学校内に小型サーバを立ててキャッ

シュ<sup>34</sup>とする、といったネットワーク構成上の工夫が必要となる。幸い、学校に至る回線は多くが光ファイバ化されているとのことであり、大規模な工事を行うことなく、高速化が図れるとみられる。ネットワークの刷新は、アクセスポイントの更新時に最新機器に交換すれば良く、漸進型の設備改善で可能だ。また、教室まで GigE (Gigabit Ethernet) が敷設されているならば、教師が授業時に最新型のアクセスポイントを教室に持参する、などの方法で対処可能である。各学校の状況に合わせた設備改善が可能であり、一度に多大な予算を投入する必要はない。学校及び教育委員会の企画能力が問われることになる。

## (2) 博物館・美術館分野が抱える 4K 利用の問題点と解決策

博物館・美術館分野では、展示映像のための 4K と文化財のデジタル化のための 4K の二つが主な話題となった。

展示映像のための 4K では、4K 作業に対応したプロダクションが少ないことと、4K から本格的に導入される順次走査に対する理解が映像業界に行きわたっていないことが指摘された。プロダクションの層を厚くするには、4K への需要が高いことが必要であり、今後も博物館・美術館が積極的に 4K 制作を行うことが一助となろう。実物感、没入感を得る手法などの 4K 映像制作技法と並行して、飛び越し走査、順次走査に起因する事項も教育の対象となるだろう。

文化財のデジタル化分野においては、正確なデータ収集のための技術開発、データの真正性の保証体制、バックアップに対する公的支援体制が求められるとされた。このうち、技術開発と真正性の保証体制はデジタル化に携わる組織の努力で達成可能とみられる。一方、バックアップは、利益を生まない行為であるため、民間企業がこれ続けるのは難しい。特に、メディアが寿命を迎え、別のメディアへの転送が必要となった際、新メディア用のハードウェア調達にかかる費用は大きい。光ディスクの場合、コンパクトディスク以来ブルーレイディスクに至るまで同じハードウェアで読み書きが可能であり互換性維持がなされているが、磁気テープの場合は、規格の寿命は短い。また、光ディスクであっても、経年変化による劣化が起こりえることから、定期的なチェックが欠かせない。チェック、転送、いずれもコストが掛かる作業となる。たとえば、国宝及び重要文化財に限っては、文化財データのバックアップに公的援助がなされる、文化財データは公的機関が収蔵し管理する、といった国家レベルの支援策が考えられる。

並行して発生が考えられる問題として、権利の所在がある。デジタル化された文化財の権利者は誰になるのか、また権利が及ぶ年限や範囲はどこまでであるのか、明確な情報が提供されないと文化財のデジタル化は進まないとの指摘が WG2 委員から出された。例えば、バックアップの問題を考えると、一般のコンテンツの場合は著作権有効期間内では著作権者及びその委託を受けたもののみがバックアップを行える。文化財データの権利者が文化財所有者であるとする、正式な委託を受けて文化財のデジタル化作業を行ったもの（企業、団体、個人）であっても、デジタル化作業の契約に明記されていなければバックアップ作業は別途委託を受けなければならないことになる。しかし、バックアップという行為の性質上、これは収益事業ではなく、維持管理活動でありコストとなる。このコスト負担を恐れて、権利者がデジタル化作業時にバックアップに関する委託を行わないことも考えられる。その場合、メディア寿命とともにデータも寿命を迎えることとな

る。一方、メディア寿命を察知した何者かがコンテンツの救済を目的にバックアップを行っても、触法する可能性も出てくる。文化財データは共有財産との考え方にに基づき、現実的な解決法が求められる。

### (3) セキュリティ分野が抱える 4K 利用の問題点と解決策

監視カメラは、4K 対応機を皮切りにより画素数を増やす方向に進むと見られる。デジタルカメラには 2500 万画素以上の撮像素子が多く使われており、画素数的には 4K で得られる 800 万画素は入口にすぎない。

監視カメラ分野からは、感度の問題（特に屋外使用時）、超高精細映像で面的に監視することへのシステムインテグレータの意識不足、そして設置基準の未整備が問題として挙げられた。

このうち、感度の改善は単純な企業努力ではなく、大学などの研究機関を巻き込んだ体制が必要とみられる。小型の撮像素子では 1 画素あたりの面積が小さくなり、入射する光子量が少ない。この状況でも良好な感度を得るためには、光電変換部分からの改良が必要とみられる。幅広い体制を敷いて、撮像素子の感度改善が必要であることをここに記す。

システムインテグレータの教育は、カメラ開発企業が行う事柄と考えられる。一方、設置基準は、民間の基準とはいえ公衆の安全に広く関わるものであることから、準公的な基準として扱い、製品開発を妨げないように速やかに改訂作業を開始することが望まれる。

### (4) 産業分野が抱える 4K 利用の問題点と解決策

産業分野からは、4K カメラを活用できるレンズが十分に開発されていないこと、機器間接続方式がデータ帯域幅に追いついておらず使い勝手が悪いこと、またコスト高を招いていることが指摘された。また、WG2 委員からは映像投射用にレーザ光源を扱いにくい<sup>35</sup>ことも問題として挙げられた。

撮像素子には、入射光を効率よく捉えるためにマイクロレンズが貼り付けられているが、それでも入射光は撮像素子に対して直角に近いほど効率は良い。撮像面（光電変換面）の法線に対して入射角の差が大きくなると、入射光が光電変換面に直接入らず、効率が落ちる。カメラ用レンズは、光電変換面の法線に対して一定の角度以下で入射光を撮像素子に導く必要がある。多くの撮像素子では表面にマイクロレンズを貼り付け感度向上を図っているが、このマイクロレンズに適切な角度で入射光を導けるカメラレンズが必要である。適切な角度で光線を導く能力が低いレンズを使用すると、素子の辺縁領域で光量低下が起きる。デジタル一眼レフカメラ用に専用レンズが開発されたように、4K カメラ用のレンズ開発が望まれる。

機器間接続方式は、ヒアリング先から強調があった通り、シングルケーブルの方式が望ましい。原型になる方式は国産のものがあるため、早期に海外展開、国際標準化を図るとともに、より低コストに実装する方法を開発するなどの努力が望まれる。

レーザ光源は、4K の規格（International Telecommunication Union, 2014）で規定された広色域に完全に対応できる現時点で唯一の光源と期待されている。一部のレーザ光源型プロジェクタ<sup>36</sup>は、RGB の 3 原色にレーザを用いており規格に準拠した広色域での表現

を可能としている。加えて、プロジェクタの光量上昇と光源の長寿命化、そして消費電力低下が期待できる。Barco（ベルギー）、Christie（カナダ）、NEC Display Solutions（アメリカ）は、すでにレーザー光源プロジェクタを商品化している。レーザー光源の寿命は最短でも 20,000 時間に達する。現在、大光量プロジェクタに使われているキセノンランプの寿命は 1500 時間から 3500 時間 [McPherson, 2014]であり頻繁な交換が必要となる。レーザー光源自体は高価だが、20,000 時間毎に交換すると仮定するとキセノンランプの累積価格の方が高価となる。消費電力も、ルーメンあたりの消費電力は 35%以上改善 [Stojmenovik, 2014]されているとのことで、有望な光源である。レーザー光源を一般の光源として扱うことで、利用が広がる。レーザー光源は広色域ばかりでなく、低消費電力、長寿命といったメリットがあるため、劇場のみならず、シミュレータでの投射にもレーザー光源が使用されることになると見られる。

#### (5) 医療分野が抱える 4K 利用の問題点と解決策

医療分野からは、カメラの小型化のために撮像素子の小型化が強く求められた。現在の大きなカメラでは手術室における取り回しを難しくする。撮像素子を小型化することで、取り回しが良くなるばかりか被写界深度を深くし、広い範囲でピントが合うカメラが実現できる。しかし、(3)でも記載の通り、受光部分が小型化すると光電変換量が減り、結果として感度が不足する。現在のシリコン素子で単純に光電変換を行うだけでは感度維持ができないとの指摘もあり、素子の物性面から高感度化のアプローチを行うことも必要とみられる。小型の撮像素子が開発されないと、カメラサイズが大きいままとなり、アプリケーションを制約することになる。産学連携により、素子材料のレベルから改良された高感度撮像素子を開発することで、撮像素子における我が国の優位性を更に強化することも可能となる。また、800 万画素、3200 万画素と画素が増えるときに、高感度動画用撮像素子を投入することで、撮像素子分野で優位性を保つ日本企業追撃を狙う海外企業も多いとみられる。国内の頭脳を結集し、急ぎ高感度撮像素子を開発することは、産業の安定化につながる。また、多くの画素を持つ高感度素子は、情報収集衛星などにも必要となるため、素子開発は国家安全保障につながる技術開発との位置づけがなされる。急ぎ横断的な取り組みがなされる必要があるであろう。

#### 2.3.2 WG2 としての提言

WG2 のまとめとして、表 2.3.2-1 を提示する。技術、インフラ、制度、教育として記載したのは、2.3.1 に記した課題を整理したものである。左記の四つの項目別に記された問題点を解決する方策が 4K 振興のための戦略となる。

最下部の WG2 総括提言として、総画素数一辺倒から画素密度 (ppi) への発想転換を謳っている。ヒアリングを行うと、総画素数を問題とするのではなく「どこまで見えるか」に重点を置いている場合が非常に多い。これは画素密度から導かれるものであり、総画素数に加えて画素密度の視点が必要とされている。スクリーンサイズ、視距離、そしてコンテンツから適切な画素密度は導かれるものであり、どれか一つの基準だけでは適切な呈示は行えないことを、多くの回答者が指摘した。

横 4000 画素級という考え方は、テレビのように標準視距離と標準画角を定めることで導かれるものであり、すべての状況にあてはめるのには無理がある。一方、画素密度 (ppi) は、アプリケーション毎に必要な値が導かれ、スクリーンサイズからは切り離された尺度である。アプリケーションの求める精細さを得るためのパラメータとして総画素数よりも扱いやすいものであり、必要な局面での利用が進むことを願う。

表 2.3.2- 1

課題の整理	
技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 4K 時代の光学・撮像・伝送技術開発の推進               <ul style="list-style-type: none"> <li>- レンズ性能の向上</li> <li>- 撮像素子の感度不足</li> <li>- 撮像素子の小型化</li> <li>- シングルケーブル接続の実現</li> </ul> </li> </ul>
インフラ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 4K を活用できる教育用 ICT インフラの整備               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 教室に 4K モニタの普及</li> <li>- 学校通信環境の 4K 対応の難しさ</li> </ul> </li> </ul>
制度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高解像度を想定しない制度、基準、体制からの脱却               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 監視カメラ設置基準</li> <li>- 文化財データバックアップの支援</li> <li>- 4K 対応プロダクション不足</li> </ul> </li> </ul>
教育	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 4K 時代の映像制作技法               <ul style="list-style-type: none"> <li>- プログレッシブ/インターレスの混在問題</li> <li>- 没入感・実物感活用制作手法</li> </ul> </li> </ul>
WG2 総括提言	
総画素数だけでなく、画素密度も含めた発想の転換	

## 文献目録

- 8K スーパーハイビジョンにおける 光インターフェースの開発と標準化動向  
Amazon.com : Samsung UN55HU6840 55-Inch 4K Ultra HD 60Hz Smart LED TV  
AXIS Communications : 画素密度  
AXIS Communications : 必要な解像度  
CoaXpress Consortium2011 : What is coaXpress?  
ICAO2009 : ICAO Doc.9625 3rd Edition 2009: Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulation Training DevicesOttawaICAO  
International Telecommunication Union : Recommendation ITU-R BT.2020 : Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange  
NEC Laser Phosphor Projector : Technology Summit on Cinema Las VegasNVUSASMPTE  
RGB Laser Projection for Premium Cinema Screens : Technology Summit on Cinema Las VegasNVUSASMPTE  
総務省 : 2013 有料放送の高画質化・高度化等に関する調査研究 (平成 25 年)  
多用化進む教室のメディア環境と教育コンテンツ : 放送研究と調査 46-67  
兵庫県理化学会 理科実習教員研修会運営委員会 : 検鏡セットの準備と管理,顕微鏡観察を補助する機器について,その他  
兵庫県理化学会 : 理科実習教員研修会運営委員会平成 21 年度 高等学校実習教員(理科・家庭科)研修講座 発表・協議「実験紹介」 顕微鏡について(アンケート回答を中心に)  
木村雅秀 : 生物模倣で大進化、デジカメの「目」 ソニーの挑戦

---

8 初等 : 一般に小学校を初等教育とするが、幼稚園を初等教育に含める場合もある。文部科学省の組織では初等中等教育局が置かれ、ここで幼児から児童生徒までを担当している。今回の調査では、幼稚園関連は調査していない。

9 中等 : 中学校及び高等学校が中等教育の範疇となる。なお、欧米では、就学前教育(幼稚園)から高等学校卒業までを「K12」と表記することも多い。

10 電子黒板 : パナソニックは、ホワイトボードに描かれた文字、図形を印字したり画像ファイルとして保存する装置を電子黒板としている。一方、日立、エプソン、パイオニアなどは、タッチ表示画像をタッチにより操作できる対話型入出力装置を電子黒板としている。本報告では、後者に関して議論を行う。

11 高等教育 : 高等専門学校、短期大学、大学及び大学院での教育課程を指す。今回の調査では、大学からの聞き取りを行った。

12 イーサネット (Ethernet) : IEEE802.3 で定められたコンピュータネットワークの方式。シールドなしのより対線を用いるものでは 10Gbps まで規格化されているが、光ファイバではより高いビットレートも取れる。当初は、バス型の構造を持ち衝突検出を用いていたが、現在はツリー型の構造を取りスイッチングハブと機器間での衝突は起きない。監視カ

---

メラでは、1Gbps の方式が使われる。

13 HEVC : ISO (International Standardization Organization) /IEC (International Electrotechnical Commission) 及び ITU-T(International Telecommunication Union)が 合同で規格化した、最新の動画像符号化の国際標準方式。現在の主流方式である MPEG-4 AVC/H.264 が放送品質の HD 画像を 8Mbps 程度に符号化するのに対して、半分の 4Mbps を実現する。

14 ピント合わせ : 撮像素子のサイズが大きいため被写界深度が浅くなり、ピントが合う範囲が狭くなる。撮像素子サイズを小さくすれば、被写界深度は深くなり、ピント合わせは容易になるが、小型の素子の作成は難しい上に、感度低下を招いてしまう。

15 LTO : Linear Tape-Open という名のコンピュータ用データ記録メディア方式。現在。第 6 世代 LTO 6 (2.5TB/カートリッジ) が実用化されており、LTO10 までのロードマップが発表されている。装置は、2 世代前までのテープを読み出しと、前世代までへの書き込みしか保証していないため、LTO を採用した場合、定期的にメディアを移行する必要がある。

16 PTZ : パン・チルト・ズームを指す。PTZ カメラは、専用の雲台に載せられており、操作卓側にもカメラ制御用のジョイスティックなどが必要となる。

17 顔認識 : 本報告では、顔検出と顔認識を区別する。顔検出はそこに顔があることを検出するもので、顔認識は「誰の顔であるか」を分析して報告するものとする。

18 パーラ : 監視カメラ業界独特の表現で、風俗営業等の規制及び業務の適正化等に関する法律第二条七号に定める業種での利用を指す。

19 HD-SDI : SDI はシリアル・デジタル・インタフェースの略。HD 非圧縮信号を 1 本の同軸ケーブルで伝送する規格の通称。1.5Gbps までの信号に対応。SMPTE 292M として規格化されている。

20 SDI 系インターフェース : たとえば、1 本で 3Gbps の伝送速度を持つ 3G-SDI。3G-SDI は、SMPTE 424M として規格化されている。

21 FPGA : field programmable gate array の略。基本的な論理回路が製造時に組み込まれており、これらの接続情報を使用時にダウンロードすることで目的の回路を形成する半導体。以前は、研究開発や試作用、一品生産用だったが最近は低価格化が進み、量産品にも使われている。

22 STB : Set Top Box (セットトップボックス) の略。ケーブルテレビや衛星放送、インターネットを使った VOD サービスなどの信号を一般のテレビで視聴するための装置。

23 SoC : System-on-a-chip の略。CPU に加えて、周辺機器や CODEC などの機能部分も一体化した LSI。採用が増えれば量産効果で低価格化ができ、それが更に採用を増やす循環となる。スマートフォン、テレビの分野で利用が目立つが、他にも多くの製品分野に浸透している。

24 CODEC : コーデック。映像や音声などのデジタルデータの処理、伝送、記録などのために、一定の規則にしたがって符号化 (エンコード) したり、符号化されたデータを復号 (デコード) したりする装置やソフトウェアなどのこと。

25 IP コア : FPGA や SoC などの開発で利用される、特定の機能に特化した回路ブロックのことで、移植性を考慮したものが多い。設計やデバッグを容易に行うことが可能になる。

26 HDMI : High-Definition Multimedia Interface の略で AV 機器間伝送用に 2002 年 12

---

月に登場した。2015年2月現在 Ver. 2.0 が実用化されており、3840×2160画素にて毎秒60フレームの伝送に対応する。最大実効伝送速度は14.4Gbps。

<sup>27</sup> DisplayPort (ディスプレイポート) : PC とディスプレイの接続用として2006年3月に登場した。2015年2月現在、Ver. 1.3 が実用化されており、最大実効伝送速度は25.92Gbps。

<sup>28</sup> SMPTE : Society of Motion Picture and Television Engineers (米国映画テレビ技術者協会) の略。映画・テレビの映像技術に関する国際的な標準化団体のひとつで標準規格の策定を行う。

<sup>29</sup> 4:4:4/12 ビット : 各画素のデータは光の三原色を基礎にして、3種類のデータすなわち、輝度 (Y) 情報と色差 (U,V) 情報の組合せで構成されるが、情報量を軽減する目的でいくつかの方式があり、一切軽減することなくフルに扱う 4:4:4、一部の色情報を間引いて情報を減らす方式として 4:2:2、4:2:0 がある。また各画素のデータのビット深度も用途に応じてバリエーションがあり、家庭用映像機器では通常 8bit だが、プロフェッショナル機器では 10bit 以上を扱う。プロフェッショナルの映像制作では、可能な範囲で品質の良いデータが扱われることから 4:4:4/12 ビットという数字を事例として紹介している。

<sup>30</sup> SMPTE の標準化作業 : 12Gbps の SDI は SMPTE ST2082-1 が、24Gbps は SMPTE ST2083-1 が担当している。なお、光伝送は ST2082-2 と ST-2083-2 が担当している。

<sup>31</sup> SMPTE の標準化作業 : 2015年2月15日の時点で SMPTE Digital Library (<http://library.smpte.org>) を調査の結果。

<sup>32</sup> ARIB : 一般社団法人 電波産業会の通称で Association of Radio Industries and Businesses の略。日本の通信・放送分野で標準規格策定や調査などを行っている団体。

<sup>33</sup> フライトシミュレータ : 旋回や上昇下降による重力の感覚を得られる装置がフライトシミュレータで、PC などで映像のみ提示する装置はフライトトレーニング・デバイス (FTD) と区分されている。

<sup>34</sup> キャッシュ : 高速にアクセスするための、一時的な記憶場所をキャッシュと総称する。この場合は、その日の授業で使うコンテンツを学校内のサーバに事前に収めておき、コンテンツ視聴のためのアクセスはキャッシュとして使用するサーバで吸収し、学外にはほとんどアクセスが起きない、といった形で高速化が実現する。

<sup>35</sup> レーザ光源を扱いにくい : レーザ光線を直接放射するのではなく、レーザー光線を蛍光体に当てて蛍光を利用する方式がオフィス用プロジェクタなどとして登場し始めている。それでも、元の光がレーザーであるだけに、レーザー発光型プロジェクタは危険なレーザー光線機器として扱われてきた。2014年に国際標準 (IEC60825-1) が改訂され、照明機器 (IEC62471) へ分類された。しかし、各国及び地域の基準は、旧国際標準に基づいたものが多く、世界各地で厳重な規制の対象となっている。米 LIPA (Laser Illuminated Projector Association) が規制撤廃を訴えて活動している。

<sup>36</sup> レーザ光源型プロジェクタ : デジタルシネマ用プロジェクタの一部やオフィス用のレーザー発光型プロジェクタは、青色レーザー光線を蛍光体に当てて赤色、緑色を得ている。「レーザー光源」を使用している、すべてが3原色をレーザー光源から直接得ているわけではない。

## 4 事業の成果（まとめ）

### 4.1 WG1 及び WG2 の結果の総括

本事業の目的で述べたように、「4K 映像は HD よりも解像度が高いため、豊かな臨場感が提供されることから、多方面にわたって活用できる」という、当該分野における典型的な訴求性について、これまで具体的な検証は、ほとんど行われてこなかった。一方で、4K 映像の 2K (HD) に対する解像度の点での優位性は明らかであり、その特性を理解・活用することは、新たな産業の創出につながると期待される。そこで本事業では、4K の特性を理解・活用し、産業創出へ貢献することを目的として、観察者（ユーザ）と事業者（プレイヤー）という、二つのドメインから WG を構成し、調査を推進した。

WG1 は、ユーザのドメインから、4K 映像の特性に関する調査を行った。具体的には、ユーザ体験の主観評価を行い、4K と 2K (HD) 間での比較を通して、その特性の理解に取り組んだ。

WG2 は、プレイヤーのドメインから、4K による産業領域の拡大に関する調査を行った。具体的には、医療や教育、セキュリティといった諸分野への応用にかかる主なプレイヤーへのヒアリングと考察に取り組んだ。

本項では、各 WG で得られた結果と考察を整理し、総括を行っていく。

#### (1) WG1：4K 映像の特徴に関する調査

WG1 では、4K 映像が与えるユーザ体験の特性について、実験的な検討が行われた。コンテンツは、予備実験を通して選定した 6 種類の映像（静止画及び動画）を用い、主観評価による 2K (HD) との比較がなされた。

解像度の異なる同一のコンテンツでは、4K と 2K の、どちらが好ましいかという一対比較を求めた後、以下の 7 項目に基づきインタビューが行われた。

- ・ 映像を拡大したい
- ・ 映像に近づきたい
- ・ 映像の質感が分かる
- ・ 映像の構造が分かる
- ・ 実物が目の前にあるように感じる
- ・ 立体感・奥行き感を感じる
- ・ 映像に手を伸ばしたい

結果から、いずれの映像においても、「4K は 2K (HD) よりも好まれる」という、選好判断における 4K 映像の優位性が認められた。また、インタビューの結果から、コンテン

ツにより傾向は異なるが、各評価項目と 4K 映像の主観的な品質との連関を示していた。具体的には、4K による「質感」や「構造」がコンテンツの特徴理解を増進し、「手を伸ばしたい」「拡大したい」といった能動体験のトリガーになり得ることが考察されている。更に 4K では、単眼立体情報による「立体感」や「奥行き感」の増幅が顕著であり、それがコンテンツへの没入感につながることを示唆された。

## (2) WG2：4K による産業領域拡大に関する調査

WG2 では、4K による産業領域拡大に関する実態調査が行われた。具体的には、以下の 5 分野における主な事業者へのヒアリングが行われた。

- ・ 教育
- ・ 博物館・美術館
- ・ セキュリティ
- ・ 産業
- ・ 医療

教育分野では、高等教育における 4K 映像の利用が先行している。特に、コンテンツ制作という点では、4K によるユーザ体験や表現技術の特性を解明することが重要であると同時に、現実感や臨場感といった視点での新たな可能性も展望されている。

博物館や美術館における 4K 映像は、アーカイブと公開という、二つの側面から考察が行われた。特に後者においては 4K のメリットとして、近接によるディテールの明確化や、一部抽出による実物感の向上など、能動的な観賞スタイルが言及されている。

セキュリティ分野において監視カメラは画素数が増加する方向にあり、その感度やシステムインテグレーション、設置基準などの不足・未整備が課題として挙げられた。これらは、4K 映像の品質に関わるクライテリアの必要性を示唆している。

産業分野からは、4K カメラに適したレンズや機器間の接続方式などの開発の遅れにより、導入・活用コストが高い点が指摘された。このことは、4K の優位性を理解・周知する機会が十分でないことを意味している。

医療分野では、手術時の 4K 映像の利用が始まっており、特に立体視を伴う 4K 映像では、HD に比べて術野の構造理解における有効性が確認されている。主な課題としては、手術室における利便性の点から、撮像素子の小型化が求められている。

## 4.2 戦略提言

戦略提言を策定するにあたり、まず WG1 の実験から得られた 4K 映像の特徴を整理したのが下図 4.2-1 である。

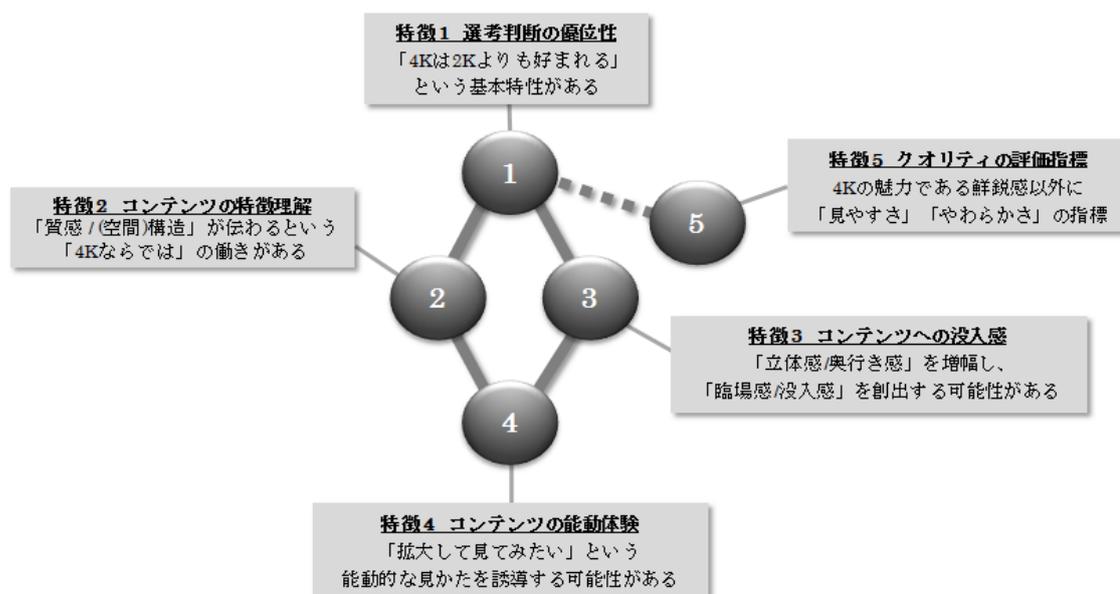


図 4.2-1 4K の特徴の整理

ここで示す五つの特徴は、まず「4K は 2K (HD) よりも好まれる」という基本特性があり (特徴 1)、その要因として、観察者に質感や構造を伝えることでコンテンツの特徴理解を増進すること (特徴 2) と、コンテンツへの臨場感、没入感を提供すること (特徴 3) が挙げられ、それらの総合的な効果として、能動体験を誘発する可能性を持つ (特徴 4)。一方、解像度が上がることで期待される鮮鋭感だけでは評価しきれない指標の存在が示唆された (特徴 5)。

以上を踏まえ WG2 の調査結果を交えて、4K 映像の産業応用展開に関する戦略として、以下に五つの提言を述べる。

(提言 1) 4K の選好判断における優位性の理解・周知を促進すること

WG1 の結果からは、「4K は 2K (HD) よりも好まれる」という基本特性が明らかとなった。一方で、WG2 の結果からは、4K の優位性を理解・周知する機会が十分でないことが考察された。そこで第 1 の提言では、この基本特性の理解・周知の促進を挙げる。

(提言 2) 4K によるコンテンツの特徴理解を活用すること

WG1 の結果から、4K 映像の質感や構造が、コンテンツの特徴理解を増進することが認

められた。WG2の結果からは、特に医療分野では4K映像による術野の構造理解の有効性が確認されている。そこで第2の提言では、4K映像による特徴理解の活用を挙げる。

(提言3) 4Kによるコンテンツへの没入感を提供すること

WG1の結果から、4K映像では立体感や奥行き感の増幅が顕著であり、それが没入感につながることを示唆された。WG2の結果からも、現実感や臨場感といった新たな視点による表現技術の可能性について指摘されている。そこで第3の提言では、4K映像によるコンテンツへの没入感への着目・提供を挙げる。

(提言4) 4Kによるコンテンツの能動体験を誘発すること

WG1の結果から、4K映像は、手を伸ばしたい、拡大したいといった、能動体験のトリガーになり得ることが考察された。WG2の結果においても、近接や一部抽出といった、能動的な観賞スタイルが言及されている。そこで第4の提言では、4K映像による能動的な観察姿勢の誘発を挙げる。

(提言5) 4Kのクオリティに関する評価指標を確立すること

WG1のインタビューの結果から、評価項目と4K映像の主観的な品質との連関が示された。また、WG2の結果からは、4K映像の品質に関わるクライテリアの必要性が示唆されている。上記提言1~4を実現する上でも、何らかの品質ガイドラインが必要であることは、明らかである。そこで第5の提言では、4K映像のクオリティにかかる基準の策定を挙げる。

## 5 事業の課題及び今後の展開

前章では、4K 映像の産業応用展開に関する五つの提言を述べた。本章では、各提言に関わる今後の課題や展開について、以下にそれぞれ指摘しておきたい。

### (1) 4K の選好判断における優位性の理解・周知を促進すること

今後、4K 映像の観察条件は、遠方の大画面から手許のタブレットまで、多様化が進むと考えられる。そのため、多様な条件下で 4K の優位性を理解・周知されるためには、解像度と画素密度、視距離の最適化や、複数のディスプレイの同時利用を想定した、表現・活用技術の開発が求められる。

### (2) 4K によるコンテンツの特徴理解を活用すること

4K 映像によって表現される質感や構造が、コンテンツの特徴理解を増進するという働きは、解像度と同時に画素密度や色域などとの関連性も予想される。そのため、ユーザが求めるパフォーマンスに貢献する要因を同定し、最大化していくためのスペックなどについて、分野毎のリクワイアメントを分析・評価していくことが望まれる。

### (3) 4K によるコンテンツへの没入感を提供すること

立体感や奥行き感、立体視(3D)ディスプレイによって増進される主な体験であるが、WG1 の結果から 4K 映像においても同様の効果がみられることが分かった。更に、これらは臨場感や没入感と密接な関連があることから、そのユーザ体験の理解を基盤とした、システムやコンテンツの研究・開発が展開することが期待される。

### (4) 4K によるコンテンツの能動体験を誘発すること

コンテンツへの能動的な体験とは、ユーザの注意や関心、モチベーションを生起し、相互に作用する関係性(インタラクション)を形成することである。そのため、ユーザの興味領域に対する至近距離での注視や、手指を用いた拡大・一部抽出といった、4K ならではの誘発的なユーザインタフェース設計が必要となる。

### (5) 4K のクオリティに関する評価指標を確立すること

WG1 の結果から、4K 映像の印象はコンテンツによって異なり、解像度に起因した鮮鋭感が、常に有効に働くとは限らないことが分かった。そのため、低周波数領域の与える影響をはじめとして、立体感や奥行き感など、一見、解像度とは区別して扱われやすい要因群が、いかにして最終的なユーザ体験に貢献し得るかを理解し、尺度化していく必要がある。同時に、その標準化の重要性についても、言を待たない。

## [ 資料編 ]

### 1.1 解像度に関わる基本的概念

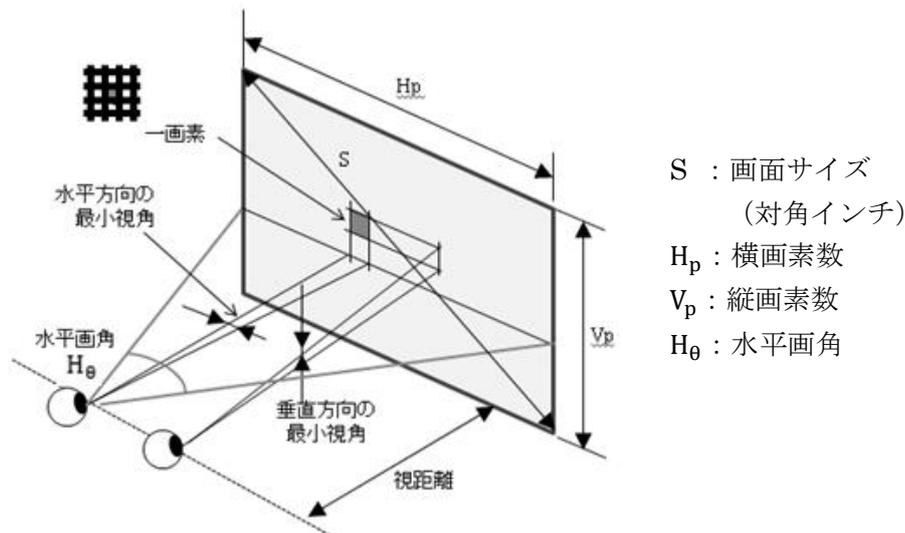


図-資料1 解像度に関する説明のための図

#### 画素数

デジタル画像は複数の画素（ドット又はピクセルと呼ぶ）で構成される。その画素の数は横画素数  $H_p$  と縦画素数  $V_p$  で表現され、HD (2K) では  $H_p1,920$ 、 $V_p1,080$ 、4K のTV 放送では HD (2K) の2倍に当たる  $H_p3,840$ 、 $V_p2,160$  となる。単に解像度と呼ぶときは、この横画素数  $H_p$  を指すことが多く、2K、4K という呼称の所以になっている。

また総画素数は横画素数  $H_p$  と縦画素数  $V_p$  を掛けることで、HD (2K) は約200万画素、4K は約800万画素となる。

#### 視力と視角

人が視認できる空間上の細かさの限界には個人差があり、視力として測定される。5m の距離で直径7.5mm、太さ1.5mm、切れ目1.5mm のランドルト環（図-資料2）が視認できれば視角1分まで視認できることとなり、これが視力1.0に相当する。視力2.0では視角が0.5分まで、視力0.5では視角2分まで視認できることになる。



ランドルト環  
図-資料2

#### 標準視距離

視力1の人の最小視覚（1分）が丁度一画素に相当する視距離を標準視距離と呼ぶ。計算によりHD (2K) の標準視距離は約3H（Hは画面高さ）、同様に4Kでは約1.5Hと求められ、実験や評価などでは視距離の標準値として扱うことが多い。標準視距離は言い方を変えると、視力1の人にとって画素が見えないぎりぎりの一番画面に近い距離ということになる。

画素密度 Pixel Density (pixels per inch) : PD<sub>ppi</sub>

文字通り画素の密度で、単位長さあたりの画素数で表す。通常長さ1インチあたりの画素数で表現され、単位はppi : pixel per inch。画素密度が高いほどきめ細かい表示が可能になる。上図では画面サイズS(画面对角線、インチ)を用いて

$$PD_{ppi} = \frac{\sqrt{H_p^2 + V_p^2}}{S}$$

角画素密度 Angular Pixel Density (pixels per degree) : PD<sub>ppd</sub>

上述の画素密度は画面サイズで値が変わるため、画面サイズに左右されない議論では角画素密度を用いる。視覚1度あたりの画素数で表現し、水平解像度を水平画角で割って求められる。単位はpixel per degree。上図では

$$PD_{ppd} = \frac{H_p}{H_\theta}$$

同じサイズの画面を近くで見れば、水平画角 $H_\theta$ が大きくなるので角画素密度 $PD_{ppd}$ は小さくなり(粗くなり)、遠くから見れば角画素密度 $PD_{ppd}$ は大きくなる(密になる)。

角解像度 Angular Resolution (cycles per degree) : PD<sub>cpd</sub>

2画素を1サイクルとカウントして解像度の単位とする。角画素密度の半分の値となる。

$$PD_{cpd} = PD_{ppd} / 2$$

## 1.2 4Kテレビを1.5Hの距離で見るケース

実験と同様の条件、つまり右図(図-資料3)のように4Kテレビを標準視距離1.5H(Hはアスペクト16:9の画面の高さ)で観るとき、視角は61.3°と計算される。また4Kの横解像度(横画素数)が3840であることから、角画素密度 $PD_{ppd}$ 、及び角解像度 $PD_{cpd}$ は

$$3840 \div 61.3 = 62.6 \text{ PD}_{ppd} = 31.3 \text{ PD}_{cpd}$$

と求まる。これは視角1°あたり約60画素、つまり最も細かい波としては(2画素を1サイクルとカウントして)視角1°あたり約30サイクルの周波数を見ることになる。

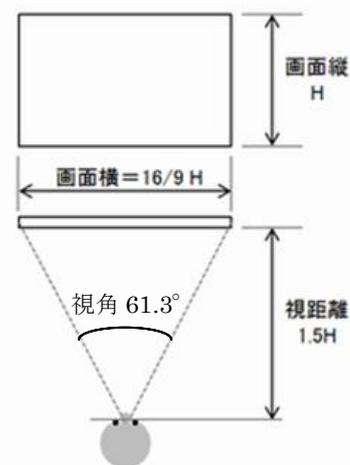


図-資料3



機械システム調査開発

26-D-4

## 4K映像に関する戦略策定

平成27年3月

作成 一般財団法人機械システム振興協会  
東京都港区芝大門一丁目9番9号  
TEL 03-6848-5036

委託先名 一般財団法人デジタルコンテンツ協会  
東京都千代田区一番町23-3  
日本生命一番町ビルLB  
TEL 03-3512-3900