

領域略称名：多元質感知

領域番号：4705

平成29年度科学研究費補助金「新学術領域研究
(研究領域提案型)」に係る中間評価報告書

「多様な質感認識の科学的解明と革新的質感技術の創出」

(領域設定期間)

平成27年度～平成31年度

平成29年6月

領域代表者 (日本電信電話株式会社NTTコミュニケーション科学基礎研究所・

人間情報研究部・主幹研究員・西田 眞也)

目 次

研究領域全体に係る事項

1. 研究領域の目的及び概要	6
2. 研究の進展状況	8
3. 審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況	11
4. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	13
5. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）	16
6. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	21
7. 若手研究者の育成に関する取組状況	23
8. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	24
9. 総括班評価者による評価	25
10. 今後の研究領域の推進方策	27

研究組織 (総括：総括班，支援：国際活動支援班，計画：総括班及び国際活動支援班以外の計画研究，公募：公募研究)

研究項目	課題番号 研究課題名	研究期間	代表者氏名	所属機関 部局 職	構成員数
X00 総括	15H05914 多様な質感認識の科学的解明と革新的質感技術の創出	平成27年度 ～ 平成31年度	西田 眞也	日本電信電話株式会社NTTコミュニケーション科学基礎研究所・人間情報研究部・主幹研究員	18
Y00 支援	15K21742 多様な質感認識の科学的解明と革新的質感技術の創出	平成27年度 ～ 平成31年度	西田 眞也	日本電信電話株式会社NTTコミュニケーション科学基礎研究所・人間情報研究部・主幹研究員	11
A01 計画	15H05915 信号変調に基づく視聴触覚の質感認識機構	平成27年度 ～ 平成31年度	西田 眞也	日本電信電話株式会社NTTコミュニケーション科学基礎研究所・人間情報研究部・主幹研究員	9
A01 計画	15H05916 質感知覚の神経基盤とその獲得および変容機構	平成27年度 ～ 平成31年度	小松 英彦	玉川大学・脳科学研究所・教授	5
A01 計画	15H05917 質感認知に伴う情動惹起の神経機構	平成27年度 ～ 平成31年度	南本 敬史	量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所・脳機能イメージング研究部・チームリーダー	6
A01 計画	15H05918 コンピュータビジョンで実現する多様で複雑な質感の認識機構	平成27年度 ～ 平成31年度	佐藤 いまり	国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・教授	5
B01 計画	15H05919 画像と言語を用いた質感情報表現のディープラーニング	平成27年度 ～ 平成31年度	岡谷 貴之	東北大学・大学院情報科学研究科システム情報科学専攻・知能ロボティクス学分野・教授	3
B01 計画	15H05920 脳・画像・テキストデータマイニングによる質感情報表現の解明	平成27年度 ～ 平成31年度	神谷 之康	株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報研究所・神経情報学研究室・室長	6
B01 計画	15H05921 視覚系における質感情報表現の階層的情報変換	平成27年度 ～ 平成31年度	大澤 五住	大阪大学・大学院生命機能研究科脳神経工学講座・視覚神経科学研究室・教授	4
B01 計画	15H05922 物理・知覚・感性の対応	平成27年度 ～	坂本 真樹	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・総合情報学専攻・メディア情	3

	付けに基づく実社会の 多様な質感情報表現	平成 31 年度		報学コース・教授	
C01 計画	15H05923 触覚的質感の記録再生 技術多様な質感情報表 現	平成 27 年度 ～ 平成 31 年度	梶本 裕之	電気通信大学・大学院情報理工学研 究科・総合情報学専攻・准教授	2
C01 計画	15H05924 コンピュータグラフィ クスによる質感表現技 術	平成 27 年度 ～ 平成 31 年度	土橋 宜典	北海道大学・大学院情報科学研究 科・准教授	5
C01 計画	15H05925 超多自由度照明による 実物体の質感表現編集 技術	平成 27 年度 ～ 平成 31 年度	岩井 大輔	大阪大学・大学院基礎工学研究科 システム創成専攻・システム科学領 域・准教授	4
C01 計画	15H05926 実社会の多様な質感情 報を分析・制御・管理す る技術	平成 27 年度 ～ 平成 31 年度	岡嶋 克典	横浜国立大学・大学院環境情報研究 院・教授	5
統括・支援・計画研究 計 14 件					
D01-1 公募	16H01658 質感知覚における輝度 ヒストグラム部分情報 と空間サイクル数の寄 与	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	栗木 一郎	東北大学・電気通信研究所・人間情 報システム研究部門・知覚脳機能研 究分野・准教授	4
D01-2 公募	16H01659 フラッシュラグ効果を 用いた質感処理過程の 同定	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	塩入 諭	東北大学・電気通信研究所・教授	3
D01-3 公募	16H01661 ヒトの触質感はなぜ多 彩なのか?～非線形触 質感喚起モデル～	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	野々村 美宗	山形大学・理工学研究科・准教授	2
D01-34 公募	16H01663 肌色空間の構築と肌質 感認識のマッピングに よる解析	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	溝上 陽子	千葉大学・大学院 工学研究院 ・融 合理工学府 創生工学専攻・イメー ジング科学コース ・准教授	4
D01-5 公募	16H01664 質感認知の異文化比較 研究	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	高橋 康介	中京大学 心理学部・准教授	4

D01-6 公募	16H01665 身体や情動に訴えかけるセンシユアルな音響質感メディアの研究	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	仲谷 正史	慶應義塾大学・環境情報学部・研究員	1
D01-7 公募	16H01669 振幅変調の概念に基づいた聴知覚における質感認識メカニズムの理解	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	鵜木 祐史	北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授	2
D01-8 公募	16H01671 おいしさをつくり出す神経細胞集団の同定	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	村田 航志	福井大学・医学部・助教	1
D01-9 公募	16H01672 高精度視覚質感記憶の心理学的基盤と神経機構の解明	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	齋木 潤	京都大学大学院人間・環境学研究所・教授	2
D01-10 公募	16H01673 細胞集団による質感情報の符号化、復号化、皮質表現	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	藤田 一郎	大阪大学・生命機能研究科・教授	4
D01-11 公募	16H01675 ワンショットBRDF計測と質感解析	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	長原 一	大阪大学・データビリティフロンティア機構・教授	1
D01-12 公募	16H01677 多様な感覚による質感認知の発達初期過程	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	山口 真美	中央大学・文学部・心理学専攻・教授	2
D01-13 公募	16H01678 チンパンジーにおける質感知覚・認知の総合的研究:比較認知科学の観点から	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	伊村 知子	新潟国際情報大・情報文化・准教授	2
D01-14 公募	16H01680 (廃止) 触覚の質感を表現するオノマトペの神経基盤	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	北田 亮	生理学研究所・助教	1
D01-15 公募	16H01681 液体粘性知覚の神経メカニズムの解明	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	眞田 尚久	関西医科大学・生理学第二講座・助教	1
D01-16 公募	16H01682 新奇食品に対する感性的質感認知の解明 - 食用昆虫を例として -	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	和田 有史	立命館大学・理工学部・教授	1

D01-17 公募	16H01683 マーモセット大脳視覚 皮質における光沢情報 の処理過程	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	宮川 尚久	国立研究開発法人・放射線医学総合 研究所・分子イメージング研究セン ター・分子神経イメージング研究プ ログラム・主任研究員	3
D01-18 公募	16H01684 顔の質感情報の時間的 コーディングの研究	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	菅生 康子	産業技術総合研究所・研究員	3
D01-19 公募	16H01685 咀嚼筋電音フィードバ ックを用いた食質感知 覚メカニズムの解明	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	藤崎 和香	産業技術総合研究所・主任研究員	3
D02-1 公募	16H01662 錯触覚を利用したタッ チパネル型多自由度標 準触覚デバイス	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	嵯峨 智	筑波大学・システム情報系・情報工 学域・准教授	2
D02-2 公募	16H01666 光線制御型エネルギー 投影手法による質感プ ロジェクション基盤技 術の構築	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	小泉 直也	電気通信大学・大学院情報理工学研 究科・情報学専攻・助教	1
D02-3 公募	16H01667 高速ビジョン・プロジェ クタに基づいた動的質 感再現	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	渡辺 義浩	東京大学・情報理工・講師	1
D02-4 公募	16H01668 タッチパネルのための P s e u d o - h a p t i c s 生起手法の確 立と質感設計への応用	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	鳴海 拓志	東京大学・情報理工・講師	4
D02-5 公募	16H01674 引箔を施した西陣織を 題材とした見かけのB R D F 操作による革新 的な質感編集の研究	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	天野 敏之	和歌山大学・システム工学部・シス テム学科・准教授	2
D02-6 公募	16H01676 多波長・多方向光源によ る蛍光物体の質感編集	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	岡部 孝弘	九州工業大学・大学院情報工学研究 院・知能情報工学研究系・教授	3
公募研究 計 25 件					

研究領域全体に係る事項

1. 研究領域の目的及び概要（2 ページ以内）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、応募時までの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

質感認識とは脳による物体の本性の解読である。視覚は光そのものを見ているわけではなく、光のパターンを解読してその向こう側にある世界を認識している。われわれは瞬時に、眼前にある物体の物性（例：光沢感）、材質（例：陶器、金属）、状態（例：乾燥）、感性的価値（例：美味しそう）、といった性質を解読することができる（図1上）。触覚や聴覚といったほかの感覚モダリティも、皮膚変形や音からものの本性を解読する質感プロセッサである。質感認識はそれ自身が基本的な人間の能力であるとともに、物体認識・価値評価・行動選択・身体運動制御といった人間のさまざまな活動で重要な役割を果たしており、その解明は人間の感覚情報処理の科学的理解に不可欠である。さらに質感の理解は、情報の表現と認識の技術に革新を生む。情報伝達やものづくりにおいて質感を意のままに制御することが可能となり、人間のように質感を認識して適切に環境と相互作用するロボットを構築することも可能になる。

しかし、質感認知は難しい多くの問題を含んでおり、それが質感の科学的理解を妨げる要因になってきた。たとえば、物体表面の光の反射や散乱のパターンが視覚的質感の大きな手がかりとなるが、それは非常に複雑な物理的なプロセスを含んでいる。高次元の反射特性をそのまま脳が表現しているとも考えられない。物体の形状や照明環境が未知な状況では、反射や散乱の高次元のパラメータを推定することは原理的にほとんど不可能と考えられる。にもかかわらず、人間は光沢や透明などの表面特質をうまく知覚できている。このような質感認識が持つ謎を解決するためには、工学、心理物理学および脳神経科学といった幅広い分野の研究者が集まり、最新の知見を持ち寄り、分野の壁を越えて多方面から研究する必要がある。

領域代表者らの研究グループは、1990年代後半から心理物理学をコンピュータグラフィックスやコンピュータビジョンと融合する新しい形の視覚的質感の研究に着手し、その一つの成果として、光沢知覚に単純な画像統計量（輝度ヒストグラムの歪度）が利用されていることを発見した（Motoyoshi, Nishida, Sharan & Adelson, 2007, Nature）。この研究をひとつの契機として全世界的に質感研究への関心が高まり、分野横断的な質感研究の流れが全世界的に生まれた。たとえば日本では、2010年にスタートした新学術領域研究「質感脳情報学」が、国内の工学・心理学・脳神経科学者から成る質感研究コミュニティを作り上げ、国際的な質感研究をリードする体制を整えた。産業界でも質感がキーワードとなり、質感研究への期待はますます高まっている。

このように順調に成長してきた質感の科学だが、そのさらなる発展のためにはこの研究課題の持つ本質的な困難性を克服する必要がある。それは現実世界の質感がもつ多様性と複雑性である。まず、質感に関わる物理的情報は多様で複雑である。最も研究が進んでいる光学的な視覚的質感においても、これまでに解明が進んでいる均質表面の微細構造に依存する表面反射特性は質感の一部しか説明できない。肌や食物などの自然物の質感を理解するためには、

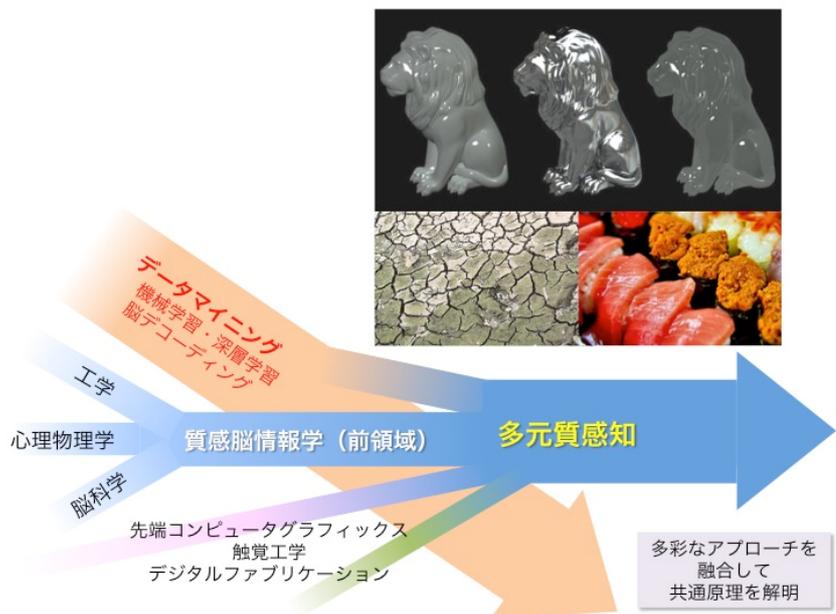


図 1: 多様な質感（上）と本領域の設計思想（下）

様々なスケールの表面構造と質感の関係を理解することが不可欠である。聴覚では、音響信号の高精細な伝達・再生技術が進歩している一方で、微細な時間構造から音の質感を認識するメカニズムに関する理解はあまり進んでいない。触覚では、タッチパネル端末の普及などにより、多様で複雑な質感を伝えることができる触覚ディスプレイへの社会の期待がますます高まっている中で、指先に感じるものの質感を再現する方法論の確立が喫緊の課題となっている。また、質感の脳内表現は多様で複雑である。人間は一つの感覚入力からさまざまな質感を同時に読みとることができる。言葉として列挙できる質感は膨大にある上に、言葉で表すことが困難な質感もある。それぞれの質感は独立では無く、他の質感と密接に結びついている。おそらく、脳内には複雑な質感概念ネットワークが構成されている。その全体像を解明するためには、これまでの理論検証型のアプローチに加えて、巨視的な視点に立ったデータ駆動型の質感研究パラダイムの導入および開発が必要である。近年発展が著しいディープラーニングを含む統計的機械学習と高度な脳情報解析技術を融合することにより、多様で複雑な質感の情報処理の理解を飛躍的に進めることが期待できる。さらに、近年多くの企業が質感に関心を寄せているが、個々の企業が扱う現場の質感は極めて多様で複雑なものである。さまざまな現実的な問題に挑戦していく中で、多様な質感を客観的な方法にもとづいて扱うことができる一般性を持つ学問的枠組みを構築していく必要がある。

このような背景の中で、本領域では、ディープラーニングなどの最先端の情報工学に心理物理学や脳神経科学を融合し、多彩なアプローチの中から、ものの物性・表面特性・材質を読み取る感覚能力としての人間の質感情報処理を科学的に解明し、その成果を利用して革新的で実用的な質感技術を創出することを目指す。項目A「質感メカニズム」では、視覚・聴覚・触覚の様々な質感認識に関して、理論的な考察に基づいた質感の機械認識手法を考案するとともに、質感に対する人間や動物の反応を心理物理学および脳神経科学的手法を用いて多角的に分析し、質感の脳内情報処理を明らかにする。各研究においては特定の質感にターゲットを絞り、理論検証型アプローチに基づいた解析を行う。一方、項目B「質感マイニング」は、データ駆動型アプローチを用いて、項目Aの戦略では捉えることが容易ではない複雑で多様な質感認識の全体的構造に迫る。データマイニングに用いられる統計的機械学習と高度な脳情報解析技術を融合した新しい質感研究パラダイムを確立するとともに、実社会の多様な質感情報の掘り起こし（マイニング）を行う。項目C「質感イノベーション」では、多様で高度な質感を人工的に再現し、編集する技術を開発する。項目AおよびBとの連携のもと、単に物理的な再現を目指すのではなく、人間が質感を読み取る原理の理解に基づいた質感表現技術を確立する。また、その成果技術を項目AおよびBにフィードバックすることで、新しい質感認識研究を可能とする。さらに、A-C項目横断的なチームを編成し、本領域と産業界などの実社会をつなぐ学問体系を構築する。

本領域の研究により、脳科学的には、質感情報処理の解明が飛躍的に進むのみならず、従来の単純な知覚処理の枠組みではとらえられない感覚情報処理の理解が深まることが期待される。脳機能パズルのミッシングピースが埋まることで、物体認識・価値評価・行動選択・身体運動制御といった関連分野研究への波及効果も生む。さらに、最新のデータ工学と結びついた巨視的なデータ駆動型脳研究を、理論検証型の脳機能研究や微視的な神経生理研究と有機的に融合することにより、国内のシステム神経科学の競争力を高めることができる。工学的には、複雑で多様な質感の再現や機械認識、質感計測技術、質感編集技術、触覚ディスプレイ技術などの先端技術が進歩する。コンピュータビジョン、コンピュータグラフィックス、色彩工学、触覚工学など、工学の中でも日頃さまざまな研究コミュニティに分かれて活動している研究者が質感という共通のテーマで連携し、さらに最先端の脳科学にも接することで、幅広いシナジー効果が期待できる。そして、学際的な質感研究コミュニティと、「質感科学」・「質感工学」という学問体系が確立することにより、質感の高度な制御を求めている国内のものづくり産業を持続的にサポートする体制が構築される。

2. 研究の進展状況〔設定目的に照らし、研究項目又は計画研究ごとに整理する〕（3ページ以内）

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、現在までにどこまで研究が進展しているのか記述してください。また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らして、どのように発展したかについて研究項目又は計画研究ごとに記述してください。

領域計画が掲げる、多様で複雑な質感の認識原理の解明、深層学習を使った質感認識の理解の深化、質感データベースの構築、革新的質感技術の開発、といったそれぞれの研究目標に対して、各計画研究で順調に研究が進展した。

研究項目 A01「質感メカニズム」（理論検証型アプローチによる質感情報処理の理解）

A01-1 の西田班では、人間の視・聴・触覚の多様な質感を生み出す変調情報とそれを抽出する脳情報処理機構を同定し、革新的な質感技術を開発することを目指している。視覚に関しては、画像の動的変形による透明液体の知覚、輝度や色の統計量に基づく物体表面の濡れの知覚、画像コントラスト低下に基づく極細構造の知覚、などを解明した。質感認識の臨床研究においては、神経変性性認知症患者の質感認知機能を分析した。タブレット端末を使った心理物理実験環境を開発し、インターネットを使った大規模実験を行い、質感認知の標準観測者データベース(DB)を作成して、領域メンバに公開した。聴覚に関しては、バイノーラルの環境音 DB を構築し、環境の残響特性が打撃音からの材質判断に与える影響などを明らかにした。触覚に関しては、物を触っているときの手の動きから触覚のデコーディング、材質判断の手がかりとなる温度感覚の時間応答特性、振動周波数や刺激部位が異なる触覚振動情報の統合過程を明らかにした。革新的な質感技術に関しては、Convolutional Neural network (CNN)を用いた質感（スタイル）変換技術を進歩させた。また、プロジェクションマッピングによる錯覚的質感操作技術を発展させ、ステレオ眼鏡無しで見たときに画像ボケを生じないまったく新しい両眼立体視法を開発した。

A01-2 の小松班は、質感情報が脳視覚野の神経細胞の活動にどのように表現され、それらの活動がどのように質感知覚と関係しているかを解明することを目指している。まず、質感認識における経験の効果に関してマカクザルの fMRI の実験を行い、下側頭皮質後部領域にみられる質感の脳内表現が素材の視覚経験を経てはじめて形成されることを見出した。マカクザルの下側頭皮質に見つかる光沢選択性ニューロンに微小電気刺激を与え、その活動が光沢知覚と因果関係を持っていることを示唆するデータを得た。また、光沢選択性ニューロンの神経応答のダイナミクスのメカニズムを解析した。CNN を用いた素材識別や光沢認識データの解釈も試みている。さらに、画像統計量と感性的質感認知の関係を心理物理学的に検討し、人間は少数の画像統計量に基づき素早く特定の表面質感を心地よい・気持ち悪いと評価している可能性を見出した。

A0-3 の南本班は、感性的質感認知における脳の基本的作動原理を明らかにすることを目指している。報酬価値判断課題を訓練したサルを対象に局所脳部位の神経細胞に人工受容体（DREADD）を導入することでその活動を薬物で一過性に抑制させることのできる化学遺伝学的手法を駆使し、視覚に基づく価値判断には高次視覚野→内側側頭葉の嗅周野→前頭眼窩皮質→吻内側尾状核という神経連絡が必須の役割を果たすことを明らかにした。さらに、これらの領域の活動抑制によって情動に関連する神経ネットワーク活動がどのように変化するかを調べる実験系を構築し、サルの情動反応の評価系の開発にも着手した。また、環境の持つ音響的質感が生体に与える効果に関して、音響環境を豊かにすることで、無音環境と比べて、マウスの寿命が延長するという興味深い結果を得た。

A0-4 の佐藤班は、微細構造を持つ実在物体の複雑な質感を光学的・空間的特徴量によりモデル化し、物体表面・内部の光の反射や散乱のパターンと人間の質感知覚との関係を解明することを目指している。相互反射や内部散乱などの間接反射では、物体表面あるいは物体内部で発生する光の反射数に応じて物体色の彩度が高くなるという光学現象を実験により確認し、この光学現象に基づき、対象物体の直接反射、間

接反射を1枚の分光画像より分離する技術を開発した。また、動的なシーンにも対応できる技術として、高周波照明下で撮像された1枚のRGB画像を用いて直接反射、相互反射を分離する技術を開発した。対象物体の幾何構造の推定に関しては、水という媒質を通して観察することで、物体表面の反射特性に依存せずに安定に幾何形状を推定する手法を提案した。従来手法では難しかった透明物体、強い鏡面反射が観察される物体に関しても提案手法により幾何形状が安定に推定できることを確認した。物体が水に濡れたときの光学的な変化に関しても、光の反射数の増加でうまくモデリングできることを示した。

研究項目 B「質感マイニング」(データ駆動型アプローチによる質感情報処理の理解)

B01-1 の岡谷班は、深層学習を用いて物体表面の質感の画像認識システムを構築し、そこに形成される質感表現を理論的に理解することを目指している。まず、物体認識を学習したCNNと材質認識を学習したCNNの内部特徴を融合し、両方の認識精度を向上させる方法を実現し、標準的な材質判断テストに対して人間に匹敵する正答率を実現した。このようにCNNが獲得した質感表現がどれほど人間に近いのかを、CNNと人の視覚の間で材質認識の振る舞いを比較することで検討した。また、画像から質感を含む言語記述を自動生成する方法、ウェブ上の情報を用いて質感を表現する概念を自動的に収集する方法、非対称のフィルタ形状を用いてCNNの認識精度を向上させる手法などを考案した。多層CNNとサル視覚皮質の比較分析を進め、皮質脳波の異なる時間周波数信号が、CNNの異なる層との間でそれぞれ異なる相関を持つことを発見した。

B01-2の神谷班は、大規模脳・画像・テキストデータを用いたデータマイニング的手法により、人間の脳の質感情報表現を発見するアプローチの創出を目指している。まず、物体認識を学習したCNNの画像に対する特徴量をfMRIで測定した脳活動で予測するデコーダーを訓練することで、訓練に用いていない未知のカテゴリも脳活動から判別できるという一般物体デコーディング法を完成した。この研究を質感に応用し、材質を分類するように訓練・チューニングしたCNNモデルから抽出される特徴を脳活動と関係づけた結果、CNNの中間層で脳情報表現に対応する特徴が生成されることが示唆された。また、CNNのユニット間の相関が画像スタイルを表現するという先行研究にもとづき、脳から特徴量相関をデコードしてみた結果、個々の画像特徴量に比べ比較的高い精度でデコードできることを見出した。

B01-3 の大澤班は、並列かつ階層的な構造を持つ視覚系における質感にかかわる情報処理過程を、神経細胞レベルで解明することを目指している。これまでに事前仮説に依存しない分析法を開発し、背側系と腹側系の両方を統一的視点で解析する体制を確立した。また、CNNの基本オペレーションでもあるプーリングに注目し、ネコの初期視覚野において最初の単純型細胞および複雑型細胞が次の段の細胞に統合される段階で、空間領域のみならず空間周波数領域や方位領域においてもプーリングが行われていることを見出した。さらに、理論的および実験的な解析により、空間および空間周波数領域におけるプーリングが両眼立体視においてこれまでに知られていなかった機能的な役割を果たしていることを明らかにした。

B01-4 の坂本班では、物理特徴・心理物理実験による知覚表現データ・言語による主観評価データを蓄積し、観察者プロフィールを対応付けて質感DBを構築することを目指している。このようなDBは、質感認知モデルの構築や実社会で役立つ質感工学の確立には不可欠である。これまでに、質感測定のための実験環境を整備し、素材サンプル(和室素材、紙、布、木、合成樹脂)を収集し、その物理量(表面形状・熱伝導率・硬度・水分量など)・知覚特性(SD法)・言語表現(オノマトペ)の特徴を視覚・触覚・聴覚実験により調べ、質感素材DBの初案を構築した。また2000枚に及ぶ素材画像セットに対して、質感表現に関係する評定とオノマトペ表現を収集し、両者の相関関係を見出すとともに、深層学習で画像と音韻を結び付ける試みも行った。

項目 C 「質感イノベーション」(質感認識の科学的理解に基づく質感創成技術の開発)

C01-1の梶本班は、触感の構成要素を解明するために指先に与えられる時空間的触覚パターンを完全に記録・再現し、その知見を援用しながらタッチパネルへの触覚提示システムを開発することを目的としている。指先皮膚が凹凸テクスチャ面上を移動した際に生じる皮膚水平変位を、高速かつ高精度でトラッキングできるシステムを新たに開発し、細かなテクスチャでは皮膚は全体として同時に駆動されるが、粗いテクスチャでは皮膚は部位ごとに時間差をもって駆動されることなどを明らかにした。さらに、粘着物質に触れた際の引き上げ力分布に着目し、圧力分布が物質の性状によって変化することを見出した。タッチパネルへの応用が可能な触覚提示技術として指腹に機械的振動刺激と摩擦刺激の両方を呈示可能な装置を開発し、従来の触覚呈示技術と比べてより本物らしいテクスチャを提示できることを確認した。

C01-2の土橋班は、物理現象に基づく質感の再現ならびに新しい質感表現および編集のための基盤技術を開発することを目指している。当初の計画通り、コンピュータグラフィックス (CG) によって複雑構造を持つ物体の質感を再現するために、コンピュータ断層撮影法(CT)を用いて精密なCG画像生成を行う仕組みを開発し、実写並の映像の生成に成功した。光の散乱や相互反射を考慮した精密なCG画像を効率よく作成するための手法も開発した。また、土橋班のもつCGのノウハウを領域の他班の質感研究と結び付けるために、質感認識の標準画像DBの作成に関わり、質感の編集に関する複数の応用研究を進めた。イラストなどの抽象化された画像に含まれる物体の反射率と形状を推定する手法、動画データベースを利用して水の静止画を動画化する研究、流体の表現および任意の質感を表現できる特殊な反射板の設計に関する研究などである。

C01-3の岩井班は、デジタルファブリケーション時代の質感表現研究を主導すべく、多自由度照明装置を用いて実物体上での質感再現・編集を実現するための基盤技術の開発を目指している。これまでに、3Dプリンタより光学マーカーを埋め込んだ状態で投影対象を出力して投影時にそれを視覚的に隠消する技術、非平面に映像投影する際に画質劣化の主要な原因となる投影光の相互反射を抑制する技術などのプロジェクションマッピング基盤技術を開発した。また、領域内の共有資産として導入した、柔軟物体や透明物体を出力可能なマルチマテリアル3Dプリンタの特性を活かし、投影面とプロジェクタとの間に非球面透明層を埋め込んで投影光を非一様に屈折させることで非平面投影時に生じる空間解像度低下を抑制する手法や、透過率および反射率を独立制御して透過時と反射時で異なる視覚像を提示できる新たな質感表現技法の研究を進めた。

C01-4の岡嶋班では、実社会に満ち溢れている多様な質感情報を多角的かつ系統的に分析し、その質感生起メカニズムを定式化・モデル化することで質感を任意に制御し、生成・出力等を管理する総合的な質感工学体系を構築することを目的とする。これまでに、質感簡易測定装置の開発、光沢検出モデルの開発、光沢感や蛍光感へのipRGC関与の発見、食品の色や質感のリアルタイム変換を可能にするHMD型拡張現実感システムの開発、視覚的質感の環境/デバイス依存性の検討、質感表現のための量子化手法の開発、プロジェクタによる金色表示法の開発、複雑な物理特性を有する蛍光物体の質感計測・解析など、質感工学のための基礎的知見を蓄積した。

研究項目 D 「公募班」

計画研究で不足しているテーマを補完することを目的に、25の公募班を採用した。そのテーマは質感認識の多様性(発達:山口、文化:高橋・和田、動物種:伊村)、視覚以外のモダリティの質感(触覚:野々村・仲谷・北田・嵯峨・鳴海、聴覚:鶴木・仲谷、嗅覚:村田、多感覚統合:藤崎・和田・鳴海)、視覚生理(藤田・眞田・宮川・菅生)、視覚心理物理(栗木・塩入・溝上)、記憶認知(齋木)、プロジェクションマッピング(渡辺・天野)、映像工学(長原・岡部・小泉)など、多岐にわたる。

3. 審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況（2 ページ以内）

審査結果の所見において指摘を受けた事項があった場合には、当該コメント及びそれへの対応策等を記述してください。

留意事項）本研究領域は、総括班以外に、計画研究が 12 と多く、かつ、各計画研究に参画する研究者の数も多い。個々の研究者の成果は期待できるものの、領域全体の方向性やまとまりが不明確であり、領域全体としての成果の創出が懸念される。このため、本研究領域の目的達成に向け、領域内の各計画研究の緊密な連携のための方策を更に工夫する必要がある。

異分野の研究者が集う本領域では、研究のねらいも各人によって異なる。質感認識に関わる脳の情報処理を科学的に理解したい人もいれば、革新的な質感工学を送出したいという研究者もいる。同じ質感認識の問題を考える上でも、サイエンスとしては生体に利用可能な情報だけを想定するが、エンジニアリングとしては物理的に利用可能なすべての情報の利用を考える。視覚に興味がある人がいれば、触覚が知りたい人がいる。領域メンバ全員で一つの大きな目標を達成するというのではなく、互いに刺激しあいながら各人のフィールドで高いレベルの研究目標を達成し、そのことで質感研究全体を前に進めるとというのが本領域の目指す連携である。そういう観点から、連携のための方策として、テクノロジー・データ・コンセプトの3つの共有が重要であると考えます。

テクノロジーの共有とは、メンバが持っている専門技術をメンバ間で共有することをさす。その代表例が、マルチマテリアルの3Dプリンタや切削ラピッドプロトタイピングマシンといったデジタルファブリケーション装置である。これらは単に高額だけではなく、使いこなすのにさまざまなノウハウが必要となる。そこで、担当者がデータ出力のための処理フローを整備し、領域メンバが相談すれば必要な者が簡単に出力できる体制を確立した。そのほか、反射特性計測装置やプロジェクションマッピング技術、コンピュータグラフィックスやテクスチャ合成／スタイル変換などの工学技術がサイエンス研究で利用され、心理物理や感性評価の正しい手法が工学者に共有されるような体制を作った。神経科学内部でも DREADD のような最新の技術が共有できる体制を準備している。

データの共有とは、別のアプローチをとるメンバが同じデータを使って研究することをさす。複雑かつ多様な質感を研究するには様々な刺激サンプル（実物の素材や画像）が必要になる。しかし、機械学習にせよ人間理解にせよ、刺激サンプルの準備が問題になる。実物を集めてくる場合はどういう基準で集めれば良いか判断に悩むし、CG を使って条件統制されかつリアルな画像刺激を作ることは非専門家にはハードルが高い。共通で利用できる刺激サンプルがあればこの問題は解決する。さらに、同じ刺激サンプルに対して、物理計測、心理評定や言語記述、心理物理実験データ、fMRI やシングルユニットの脳活動データが紐付けられることにより、反応データ群を直接対応づけることが可能となる。大局的な視点に立って人間の質感認識を解析できるし、様々な工学的な応用にも結び付けることができる。このような考えに基づいて、実際の様々な素材を基にした質感素材 DB と、CG 画像に物理的質感属性（光沢など）の心理物理データが紐付いた質感標準課題 DB を整備し、その第一弾を領域内に公開した。今後、様々なプロジェクトで利用していく予定である。

コンセプトの共有とは、理論や考え方を異分野間で融合することである。関連分野でも少し離れると考え方が違うことが良くある。サイエンスとエンジニアリングの違いはもとより、視覚・触覚・聴覚・嗅覚で研究発想が異なるし、コンピュータビジョンとコンピュータグラフィックスでも異なる。しかし、解決すべき問題はしばしば相同であり、異分野のアイデアが問題解決のヒントを与えてくれることがある。班会議における研究交流から（特に質感脳情報学領域から継続した班員に関しては周囲が驚くほど）相互の理解が進んでいる。班会議以外にも、「柔らかいものの質感」といったテーマについて分野横断的に議論する Special Interest Group の会合を開催し、Web 会議システムを利用して

領域メンバ全員が参加できるようにした。また、深層学習に関しては、領域内の工学・心理物理・脳科学研究をつなぐキーコンセプトと考え、深層学習を使った脳の情報処理のモデリングで世界をリードする研究者の招聘、班会議での特別セッション、などを通してコンセプトの共有化を促進した。

〈留意事項〉人の多様性を理解する戦略についても不明確であるため、さらなる検討が必要である。

計画班研究では多様性を生む経験の効果に関して、触覚経験によって視覚系の素材に関する脳内表象が変化することを明らかにした。さらに、より直接的に質感認識の多様性を検討するため、質感の国際的異文化比較（アフリカ・北米・北欧・東南アジア）、食習慣の違いの感性的質感への影響、乳児や幼児の質感知覚の発達、類人猿の質感知覚を公募班として採択した。これらの研究において、できるだけ共通の課題（上述の質感標準課題DB）を利用することで、効果的に多様性の評価を行う。

〈留意事項〉3D プリンター等を利用した検証など、一部の方法論の妥当性には留意しつつ、研究の進展に応じて方法論を常に議論し、必要に応じて見直すことが必要である。

後述するように、3Dプリンタ（Stratasys Objet 260 Connex3）は領域内で活発に利用されている。当初予定されていたデジタルファブ리케이션関連の研究のみならず、触覚や視覚の心理・脳科学研究へ応用されている。半透明物体に関するコンピュータビジョンなど、マルチマテリアルの特性をフルに活かすことのできる研究テーマも立ちあがってきている。また、このプリンタで完全な質感再現が実現できるようになると我々は考えているわけでは無く、現行最高スペックの装置を購入したことによって初めて、ファブ리케이션の最先端技術の限界や課題を質感研究の観点からあぶり出し、新たな研究テーマを開拓できるというところに、このプリンタ購入の意義があると考えている。

〈留意事項〉計画研究「物理・知覚・感性の対応付けに基づく実社会の多様な質感情報表現」、「コンピュータグラフィックスによる質感表現技術」、「実社会の多様な質感情報を分析・制御・管理する技術」については、研究経費の妥当性・必要性が不明瞭であるため、必要に応じて見直しの上、交付申請されたい。

〈留意事項〉計画研究 B01「物理・知覚・感性の対応付けに基づく実社会の多様な質感情報表現」について、データベースの構築に多額の予算が積算されているが、その必要性、データベースのデザインやデータ収集の方法、他の計画研究での活用方法等が不明確であるため、これを精査した上で、必要に応じて計画の修正・再検討を行うことが必要である。

〈参考意見〉他の大型研究費（ImPACT、ACCEL、CREST）を取得している研究者が数名参画していることから、本新学術領域研究との不合理な重複が生じないように切り分けを明確にし、着実に研究を遂行することが望まれる。

以上の項目については、関連する個別計画報告書にて回答する。

〈参考意見〉質感という非常に文化や言語の影響を受ける高次の認識及び心理物理と、脳神経科学で扱うメカニズムを繋ぐ研究を含めることが必要なのではないかとの意見があった

それをつなぐコンセプトがまさに深層学習では無いかと考えて、領域内で活発な議論を重ねている。

4. 主な研究成果（発明及び特許を含む）[研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理する]

（3 ページ以内）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果（発明及び特許を含む）について、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、図表などを用いて研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。記述に当たっては、本研究課題により得られたものに厳に限ることとします。

研究項目 A01「質感メカニズム」

A01-1（計画・西田）

- ・ 2D・3D 映像が同時に視聴できるステレオ映像生成技術の開発

単眼画像に視差誘導パターンを加算・減算することで両眼像を生成することで通常メガネをかけないときに生じるステレオ映像ボケを消す方法を開発した。(SIGGRAPH, Technical paper, 2017)

- ・ 髪の毛のような細かさの知覚メカニズムの解明

人間は髪の毛のような視覚の解像度の限界を超えた細かさが正しく判断できること、そして、その判断に画像テクスチャのコントラストの低下と輝度ヒストグラムのガウス分布的な形状を利用していることを心理物理実験により解明した。コンピュータグラフィックスで最終的な画像の解像度より高い解像度で画像生成としないと細かなテクスチャがうまく表現できない理由が明らかになった。(Journal of Vision, 2017)



A01-1（計画・西田）・A01-4（計画・佐藤）

- ・ 物体表面の濡れの認識メカニズムと物理光学の解明

西田班は、多くの色が含まれる乾燥表面の画像に対して色の彩度を上げ輝度ヒストグラムの歪度を上げると表面が濡れているように見えることを発見し、その脳の推論が生態学的に妥当であることを解明した (Journal of Vision, 2017)。佐藤班は濡れによる彩度上昇の物理過程を分析し、表面内のパーティクルの多重散乱でモデリングできることを示した。(CVPR 2017: Drexler 大の Nishino との共同研究)

A01-4（計画・佐藤）

- ・ 水中物体の形状推定：国際支援を受けた Drexel 大の Nishino 教授（班友）との共同研究

水の波長吸収特性に注目し、水という媒質を通して観察することで、物体表面の反射特性に依存せずに安定に幾何形状を推定する手法を提案した。従来手法では難しかった透明物体、強い鏡面反射が観察される物体に関しても幾何形状が安定に推定できることを確認した。(European Conference on Computer Vision, 2016)

A01-2（計画・小松）

- ・ 「見て触れる」経験が「見る」仕組みを変えることを発見：A01-3 との共同研究

ヒトと同様の視覚・触覚機能を持つサルを用いた fMRI 研究によって、様々な新しいものを実際に「見て触れる」経験をすることで、視覚の情報処理を司る脳部位である「視覚野」の視覚刺激への反応が変化することを明らかにした。

(Current Biology, 2016)



A01-3（計画・南本）

- ・ 価値判断における吻内側尾状核の役割の解明

価値判断課題を訓練したサルを対象に、化学遺伝学的手法(DREADD-CNO 法)を用いることで吻内側尾状核の神経活動を一過性に抑制させたとき、価値判断に障害を引き起こすことを明らかにした。

(Nature Communications, 2016)

研究項目 B01「質感マイニング」

B01-2 (計画・神谷)

・脳活動から CNN 階層特徴量を予測する方法の確立

物体認識を学習した CNN の画像に対する階層的特徴量を fMRI で測定した脳活動から予測する方法を確立し、一般物体デコーディング法の実現に寄与した。(Nature Communications, 2017)

B01-4 (計画・坂本)

・触覚オノマトペマップの構築

オノマトペを使って様々な素材に対する多次元の触覚空間をより分かりやすく表現する触覚オノマトペマップを構築した。(Frontiers in Psychology, 2017)

B01-3 (計画・大澤)

・運動情報処理中枢の受容野構造の解明

サルの MT 野細胞がうける抑制と興奮性入力の性質を調べ、抑制入力、空間・時間周波数領域において興奮性入力よりも広範に分布しているため、ピークではそれほど強くはないが、周波数領域全体を積分した総合的強度は必ずしも弱くはなく、興奮性入力とほぼ同程度の強度を持つことを明らかにした。(Journal of Neurophysiology, 2016)

B01-1 (計画・岡谷)

・人間並みの素材認識ネットワークの実現

物体認識を学習した CNN と材質認識を学習した CNN の内部特徴を融合し、両方の認識精度を向上させる方法を実現し、標準的な材質判断テスト(Flickr Material Database)に対して人間に匹敵する正答率(84%)を実現した。(International Conference on Pattern Recognition, 2016)

研究項目 C01「質感イノベーション」

C01-3 (計画・岩井)

・3D プリントされた実物体へのプロジェクションマッピング法の確立

3D プリンタより光学マーカーを埋め込んだ状態で投影対象となる実物体を出力し、マーカーを画像計測して投影画像をズレ・歪みなく実物体面に位置合わせすると同時にそれを視覚的にキャンセルする色補償技術を開発した(IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, in press)。



C01-1 (計画・梶本)

・皮膚挙動計測システムの構築

テクスチャ面を指先でなぞった際の皮膚の挙動を高い時空間分解能で計測できるシステムを構築した。テクスチャ面自体が計測の妨げとなる問題を、計測系を一定の屈折率の液体に沈めることで光学的に解決した。(EuroHaptics, 2016)



C01-2 (計画・土橋)

・多重散乱によるぼけの高速レンダリング方の発見：A01-1 との共同研究

半透明な物体、例えば、ゼリーや霧、煙などに入射した光は、物体内部の多重散乱により拡散する。この現象を計算機シミュレーションするための超高速計算法を発見した。(Computer Graphics Forum, 2016)

C01-4 (計画・岡嶋)

・ プロジェクションマッピングで食品の質感と味をカスタマイズする拡張現実感システムの開発
実際の食品（ケーキやチップス）の質感（色）をプロジェクションマッピングでリアルタイムに変化させるシステムを開発し、食品の見かけを変えるだけで喫食時の味が変化することを実験的に示し、システムの有効性を確認した。(18th International Conference on Multimodal Interaction, 2016)

研究項目 D01, D02（公募班）

D01-17（公募・宮川）

・ マーモセットの質感処理神経機構を発見

コモンマーモセットに様々な表面素材感と3次元形状を持つ刺激画像を麻酔下で視覚提示し、側頭視覚皮質の上側頭溝底部腹側領域に光沢素材（ガラスおよび金属）に選択的な応答を示す神経細胞集団がクラスター状に固まって存在することを発見した。(Frontiers in Neural Circuits, 2016)

D02-1（公募・嵯峨）

・ 多電極静電型触覚ディスプレイの開発：C01-1 班との共同研究

摩擦感を簡便に提示できる静電型触覚ディスプレイは触覚の質感を再現する有望な方法であるが接触板全体に均一な摩擦感しか提示できないという課題があった。これに対して新たに多電極駆動に対応した回路をC01-1 班と共同で開発し、各指に独立な刺激信号を提示出来ることを確認した。

(AsiaHaptics, 2016)

D02-5（公募・天野）

・ プロジェクタで写真の表情を簡単に変える技術の開発

顔写真に位置と表情のコードを埋め込み、カメラ・プロジェクター系で表情を変えるシステムを開発した。(SIGGRAPH ASIA, 2016)

D01-13（公募・伊村）

・ チンパンジーの鮮度知覚の解明：C01-4, D01-16 との共同研究

人間のようにチンパンジーも野菜の表面のツヤやハリなどの「鮮度」の違いを輝度分布などの視覚手がかりのみから区別できることを示した。(Scientific Reports, 2016)

5. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開發表等）（5 ページ以内）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果の公表の状況（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。記述に当たっては、本研究課題により得られたものに厳に限ることとします。

- 論文の場合、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に記載し、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付し、corresponding author には左に*印を付してください。
- 別添の「(2) 発表論文」の融合研究論文として整理した論文については、冒頭に◎を付してください。
- 補助条件に定められたとおり、本研究課題に係り交付を受けて行った研究の成果であることを表示したもの（論文等の場合は謝辞に課題番号を含め記載したもの）について記載したもののについては、冒頭に▲を付してください（前項と重複する場合は、「◎▲・・・」と記載してください）。
- 一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

〈発表論文〉

研究項目 A01 「質感メカニズム」

A01-1（計画・西田） 計 28 件（査読有 23 件、査読無 5 件）

- ◎▲“Hiding of phase-based stereo disparity for ghost-free viewing without glasses”, *Fukiage T, Kawabe T, & Nishida S, *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2017)*, 査読有, Vol. 36, No. 4, Article 147, (2017)
- ▲“Integration of vibrotactile frequency information beyond the mechanoreceptor channel and somatotopy”, *Kuroki S, Watanabe J, & Nishida S, *Scientific Reports*, 査読有, in press, (2017)
- ◎▲“Visual wetness perception based on image color statistics”, *Sawayama M, Adelson EH, & Nishida S, *Journal of Vision*, 査読有, 17(5):7, 1-24, (2017)
- ▲“Neural Style Vector を用いた絵画画像のスタイル検索”, *松尾真, 柳井啓司, *電子情報通信学会論文誌*, 査読有, J100-D(8), (2017)
- ◎▲“Human perception of sub-resolution fineness of dense textures based on image intensity statistics”, *Sawayama M, Nishida S, & Shinya M, *Journal of Vision*, 査読有, 17(4):8, 1-18, (2017)
- ◎▲“Deformation Lamps: A projection technique to make static objects perceptually dynamic”, *Kawabe T, Fukiage T, Sawayama M, & Nishida S, *ACM Transactions on Applied Perception*, 査読有, Vol. 13, No. 2, Article 10, (2016)
- ◎▲“Perceptual transparency from image deformation”, *Kawabe T, Maruya K, Nishida S, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 査読有, 112(33):E4620-7, (2015)

A01-2（計画・小松） 計 8 件（査読有 8 件、査読無 0 件）

- ◎▲“Gradual development of visual texture-selective properties between macaque areas V2 and V4”, *Okazawa G, Tajima S, Komatsu H, *Cerebral Cortex*, 査読有, in press, (2017)
- ▲“Comparison of the color selectivity of macaque V4 neurons in different color spaces”, Sanada TM, Namima T, *Komatsu H, *Journal of Neurophysiology*, 査読有, 116 (5), 2163-2172, (2016)
- ▲“Crossmodal association of visual and haptic material properties of objects in the monkey ventral visual cortex”, *Goda N, Yokoi I, Tachibana A, Minamimoto T, Komatsu H, *Current Biology*, 査読有, 26(7):928-934, (2016)
- ▲“On-Off asymmetry in the perception of blur”, *Sato H, Motoyoshi I, Sato T, *Vision Research*, 査読有, 120(1): 5-10, (2016)
- ▲“Pre-constancy vision in infants”, *Yang J, Kanazawa S, Yamaguchi MK, Motoyoshi I, *Current Biology*, 査読有, 25(24): 3209–3212, (2015)

A01-3（計画・南本） 計 14 件（査読有 14 件、査読無 0 件）

- ▲“PET imaging-guided chemogenetic silencing reveals a critical role of primate rostromedial caudate in reward

evaluation”, Nagai Y, Kikuchi E, Lerchner W, Inoue KI, Ji B, Eldridge MAG, Kaneko H, Kimura Y, Oh-Nishi A, Hori Y, Kato Y, Hirabayashi T, Fujimoto A, Kumata K, Zhang MR, Aoki I, Suhara T, Higuchi M, Takada M, Richmond BJ, *Minamimoto T. *Nature Communications*, 査読有, 7: 13605, (2016)

2. ▲“Crossmodal association of visual and haptic material properties of objects in the monkey ventral visual cortex”, Goda N, Yokoi I, Tachibana A, Minamimoto T, *Komatsu H. *Current Biology*, 査読有, 26:928-934, (2016)
3. ▲“Chemogenetic disconnection of monkey orbitofrontal and rhinal cortex reversibly disrupts reward value”, Eldridge MA, Lerchner W, Saunders RC, Kaneko H, Krausz KW, Gonzalez FJ, Ji B, Higuchi M, Minamimoto T, *Richmond BJ., *Nature Neuroscience*, 査読有, 19: 37-39 (2016)

A01-4 (計画・佐藤) 計 15 件 (査読有 15 件、査読無 0 件)

1. ▲“Wetness and Color from A Single Multispectral Image”, Shimano M, Okawa H, Asano Y, Bise R, Nishino K, & Sato I, *In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2017)*, 査読有, in press, (2017)
2. ▲“Spectral Reflectance Recovery with Interreflection Using a Hyperspectral Image”, Ohkawa H, Okawa H, Lam A, & Sato I, *In Proc. of Asian Conference on Computer Vision (ACCV 2016)*, 査読有, (2016)
3. ▲“Shape from water: Bispectral light absorption for depth recovery”, Asano Y, Zheng Y, Nishino K, & Sato I, *In Proc. of European Conference on Computer Vision (ECCV2016)*, 査読有, pp. 635-649, (2016)
4. “Reconstructing Shapes and Appearances of Thin Film Objects Using RGB Images”, Kobayashi Y, Morimoto T, Sato I, Mukaigawa Y, Tomono T, & Ikeuchi K, *In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2016)*, 査読有, (2016)
5. ▲“Acquiring Curvature-Dependent Reflectance Function from Translucent Material”, Okamoto M, Kubo H, Mukaigawa Y, Ozawa T, Mochida K, & Morishima S, *In NICOGRAPH International 2016*, 査読有, (2016)

B01-1 (計画・岡谷) 計 10 件 (査読有 8 件、査読無 2 件)

1. ▲“Separation of reflection components by sparse non-negative matrix factorization”, Akashi Y, *Okatani T, *Computer Vision and Image Understanding*, 査読有, 146, 77-85, (2016)
2. ◎▲“Integrating Deep Features for Material Recognition”, *Zhang Y, Ozay M, Liu X, & Okatani T, *Proc. International Conference on Pattern Recognition*, 査読有, 3697-3702, (2016)
3. ▲“Design of Kernels in Convolutional Neural Networks for Image Classification”, *Sun Z, Ozay M, Okatani T, *Proc. European Conference on Computer Vision*, 査読有, 51-66, (2016)
4. ▲“Automatic Attribute Discovery with Neural Activations”, *Vittayakorn S, Umeda T, Murasaki K, Sudo K, Okatani T, Yamaguchi K, *Proc. European Conference on Computer Vision*, 査読有, 252-268, (2016)
5. ▲“Learning to Describe E- Commerce Images from Noisy Online Data”, *Yashima T, Okazaki N, Inui K, Yamaguchi K, Okatani T, *Proc. Asian Conference on Computer Vision*, 査読有, 75-100, (2016)

B01-2 (計画・神谷) 計 6 件 (査読有 6 件、査読無 0 件)

1. ◎▲“Generic decoding of seen and imagined objects using hierarchical visual feature”, Horikawa T, *Kamitani Y, *Nature Communications*, 査読有, 8:1503, (2017)
2. ◎▲“Hierarchical neural representations of dreamed objects revealed by brain decoding with deep neural network features”, *Horikawa T, Kamitani Y, *Frontiers in Computational Neuroscience*, 査読有, 11: 4, (2017)
3. ◎▲“BrainLiner: A neuroinformatics platform for sharing time-aligned brain-behavior data”, Takemiya M, Majima K, Tsukamoto M, *Kamitani Y, *Frontiers in Neuroinformatics*, 査読有 10:3, (2016)

B01-3 (計画・大澤) 計 9 件 (査読有 9 件、査読無 0 件)

1. ▲“Switch from ambient to focal processing mode explains the dynamics of free viewing eye movements”, *Ito J, Yamane Y, Suzuki M, Maldonado P, Fujita I, Tamura H, & Grün S, *Scientific Reports*, 査読有, 7:1082, 1-14, (2017)
2. ▲“Subspace mapping of the three-dimensional spectral receptive field of macaque MT neurons”, Inagaki M, Sasaki KS, Hashimoto H, & *Ohzawa I, *Journal of Neurophysiology*, 査読有, 112: 784-795, (2016)
3. ▲“Effects of generalized pooling on binocular disparity selectivity of neurons in the early visual cortex”, Kato D, Baba M, Sasaki KS, & *Ohzawa I, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 査読有, 371: 20150266, pp.1-19, (2016)
4. ▲“Supranormal orientation selectivity of visual neurons in orientation-restricted animals”, Sasaki KS, Kimura R, Ninomiya T, Tabuchi Y, Tanaka H, Fukui M, Asada YC, Arai T, Inagaki M, Nakazono T, Baba M, Kato D, Nishimoto S, Sanada TM, Tani T, Imamura K, Tanaka S, & *Ohzawa I, *Scientific Reports*, 査読有, 5: 16712, pp. 1-12, (2015)

B01-4 (計画・坂本) 計 14 件 (査読有 10 件、査読無 4 件)

- 1 ◎ ▲“Exploring Tactile Perceptual Dimensions Using Materials Associated with Sensory Vocabulary”, *Sakamoto M, Watanabe J, *Frontiers in Psychology*, 査読有, 8, 1-10. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.00569, (2017)
- 2 ▲“オノマトペー生活を快適にする情報技術—”, *坂本真樹, *人工知能*, 32(1), 111-116, (2017)
- 3 ▲“Automatic Estimation of Multidimensional Ratings from a Single Sound-symbolic Word and Word-based Visualization of Tactile Perceptual Space”, Doizaki R, Watanabe J, *Sakamoto M, *IEEE Transactions on Haptics*. 査読有, DOI: 10.1109/TOH.2016.2615923, (2016)
- 4 ▲“オノマトペ (擬音語・擬態語) による質感印象の定量化—金属調加飾デザイン支援への応用事例—”, *坂本真樹, *精密工学会誌*, 82(11), 939-943, (2016)
- 5 ▲“オノマトペ分布図を利用した触感覚の個人差可視化システム”, *坂本真樹, 田原拓也, 渡邊淳司, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 21(2), 213-216, (2015)

C01-1 (計画・梶本) 計 12 件 (査読有 12 件、査読無 0 件)

1. ▲“Quantification of Stickiness Using a Pressure Distribution Sensor”, *Kameoka T, Takahashi A, Yem V, & Kajimoto H, *IEEE WorldHaptics 2017*, 査読有, Munich, (2017)
2. ▲“Graphical modeling method of texture-related affective and perceptual responses”, *Kidoma K, Okamoto S, Nagano H, & Yamada Y, *International Journal of Affective Engineering*, 査読有, 16(1), 27-36, (2017)
3. ▲“Friction model of fingertip sliding over wavy surface for friction-variable tactile feedback panel”, *Fujii Y, Okamoto S, & Yamada Y, *Advanced Robotics*, 査読有, 30(20), 1341-1353, (2016)
4. ▲“A touch sensing technique using the effects of extremely low frequency fields on the human body”, *Elfekey H, Bastawrous HA, & Okamoto S, *Sensors*, 査読有, 16(12), 2049, (2016)
5. ▲“Method of Observing Finger Skin Displacement on a Textured Surface Using Index Matching”, *Kaneko S, & Kajimoto H, *EuroHaptics 2016*, 査読有, London, (2016)

C01-2 (計画・土橋) 計 14 件 (査読有 13 件、査読無 1 件)

1. ▲“Feedback Control of Fire Simulation based on Computational Fluid Dynamics”, *Sato S, Mizutani K, Dobashi Y, Nishita T, & Yamamoto T, *Computer Animation and Virtual Worlds Journal*, 査読有, in press, (2017)
2. ▲“Animating pictures of water scenes using video retrieval”, *Okabe M, Dobashi Y, & Anjyo K, *The Visual Computer*, 査読有, in press, (2017)
3. ▲“An Error Estimation Framework for Many-Light Rendering”, *Nabata K, Iwasaki K, Dobashi Y, Nishita T, *Computer Graphics Forum*, 査読有, 35(7), (2016)

4. ▲“Multiple Scattering Approximation in Heterogeneous Media by Narrow Beam Distributions”, *Shinya M, Dobashi Y, Shiraishi M, Kawashima M, Nishita T, *Computer Graphics Forum*, 査読有, 35(7), (2016).
5. ▲“Measuring Microstructures Using Confocal Laser Scanning Microscopy for Estimating Surface Roughness”, *Dobashi Y, Ijiri T, Todo H, Iwasaki K, Okabe M, & Nishimura S, *Proceeding ACM SIGGRAPH 2016 Posters*, Article No. 28, 査読有, Anaheim, Convention Center, (2016)

C01-3 (計画・岩井) 計 12 件 (査読有 12 件、査読無 0 件)

1. ▲“Fabricating Diminishable Visual Markers for Geometric Registration in Projection Mapping”, Asayama H, *Iwai D, Sato K, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 査読有, 12, in press, (2017)
2. ▲“Distributed Optimization Framework for Shadow Removal in Multi-Projection Systems”, *Tsukamoto J, Iwai D, Kashima K, *Computer Graphics Forum*, 査読有, 11, in press, (2017)
3. ◎▲“手へのテクスチャ重畳投影による触質感変調の検討”, *青木芽衣, 渡邊淳司, 岩井大輔, 佐藤宏介, *映像情報メディア学会誌*, 査読有, 71(3), J118-J120, (2017)
4. ▲“Optimization of Illumination for Generating Metamerism”, *Miyazaki D, Nakamura M, Baba M, Furukawa R, Hiura S, *Journal of Imaging Science and Technology*, 査読有, 60(6), 60502:1-15, (2016)
5. ▲“Surface normal estimation of black specular objects from multiview polarization images”, *Miyazaki D, Shigetomi T, Baba M, Furukawa R, Hiura S, Asada N, *SPIE Optical Engineering*, 査読有, 56(4), 041303:1-17, (2016)
6. ▲“Inter-reflection Compensation of Immersive Projection Display by Spatio-Temporal Screen Reflectance Modulation”, *Takeda S, Iwai D, Sato K, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 査読有, 22(4), 1424-1431, (2016)

C01-4 (計画・岡嶋) 計 30 件 (査読有 30 件、査読無 0 件)

1. ▲“京町家のファサードに好ましい古さ感に関する研究”, *奥田紫乃, 岡嶋克典, *日本感性工学会論文誌*, 査読有, 16, in press, (2017)
2. ▲“Perception of gold materials by projecting a solid color on black materials”, *Tanaka M, & Horiuchi T, *Color Research and Application*, 査読有, in press, (2017)
3. ▲“Fabric Appearance Control System for Example-based Interactive Texture and Color Design”, Katsunuma T, *Hirai K & Horiuchi T, *ACM Trans. Applied Perception*, 査読有, 14, article 16, (2017)
4. ▲“Spectral image analysis of mutual illumination between florescent objects”, *Tominaga S, Kato K, Hirai K, & Horiuchi T, *The Journal of the Optical Society of America A*, 査読有, 33, 1476-1487, (2016)
5. ▲“Projective-AR System for Customizing the Appearance and Taste of Food”, *Nishizawa M, Wanting J, Okajima K, *Proceedings of 18th International Conference on Multimodal Interaction*, 査読有, MVAR2016-Article#6, (2016)

D01, D02 公募班 計 33 件 (査読有 32 件、査読無 1 件)

1. ▲“Nonlinear Friction Dynamics on Polymer Surface Under Accelerated Movement”, Aita Y, Asanuma N, Takahashi A, Mayama H, & *Nonomura Y. *API Advances*, 査読有, in press, (2017)
2. ▲“Resistive Swipe: Visuo-Haptic Interaction during Swipe Gestures to Scroll Background Images on Touch Interfaces”, Narumi T, Ujitoko Y, Ban Y, Tanikawa T, Hirota K, & Hirose M, *World Haptics Conference 2017*, 査読有, in press, (2017)
3. ▲“Infants' perception of lightness changes related to cast shadows”, *Sato K, Kanazawa S, & Yamaguchi MK, *PLoS ONE*, 査読有, 12(3): e0173591, (2017)
4. ▲“Representation of Glossy Material Surface in Ventral Superior Temporal Sulcal Area of Common

- Marmosets”, *Miyakawa N, Banno T, Abe H, Tani T, Suzuki W, *Ichinohe N, *Frontiers in Neural Circuits*, 査読有, 11 (17):1 -15, (2017)
5. ◎▲ “The effect of a crunchy pseudo-chewing sound on perceived texture of softened foods”, *Endo H, Ino S, & Fujisaki W, *Physiology & Behavior*, 査読有, 167, 324-331, (2016)
 6. ▲ “Multi-Electrodes-based Electrostatic Tactile Display”, Tomita H, Saga S, & Kajimoto H, *AsiaHaptics 2016*, 査読有, (2016)
 7. ▲ “Coded Facial Expression” Toshiyuki Amano, *SIGGRAPH ASIA 2016 Emergency Technology*, 査読有, (2016)
 8. ▲ “Acquiring Multispectral Light Transport Using Multi-Primary DLP Projector”, Maeda K, & Okabe T, *The 6th International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA2016)*, 査読有, (2016)
 9. ◎▲ “Chimpanzees can visually perceive differences in the freshness of foods”, *Imura T, Masuda T, Wada Y, Tomonaga M, & Okajima K, *Scientific Reports*, 査読有, 6, Article number: 34685, (2016)

〈書籍〉計 11 件（編著 1 件、主著 1 件、共著 9 件）

「坂本真樹先生が教える人工知能がほぼほぼわかる本」坂本真樹著、オーム社、2017

「質感の科学 —知覚・認知メカニズムと分析・表現の技術—」小松英彦編、小松英彦・西田真也・本吉勇・澤山正貴・渡邊淳司・藤崎和香・大沢五住・本田学・日浦慎作・佐藤いまり・中内茂樹・岡谷貴之・岩井大輔・坂本真樹・岡本正吾著、朝倉書店、2016

〈ホームページ〉計 6 件

Shitsukan Gateway	http://shitsukan.jp
多元質感知	http://www.shitsukan.jp/ISST/
質感のつどい	http://www.shitsukan.jp/tsudoi/
質感研究データベース	http://www.shitsukan-db.jp （一部一般公開）
変幻灯	http://www.kecl.ntt.co.jp/human/hengentou/
触感コンテンツ 100 選	http://www.touch100.org

〈新聞・テレビ〉新聞計 20 件 テレビ計 13 件

日本経済新聞 (2017.5.29) 「NTT、3Dも2Dも見やすく 眼鏡有無で切り替え」(計画・西田班)

朝日新聞 (2016.12.12) 「天女像を光で彩る」(公募・天野班)

NHK (2016.7.24) 「サキどり：未来にタッチ！ 触感レポリビューション」(公募・仲谷班・北田班)

朝日新聞 (2016.3.24) 「(ミチをひらく) 動く物体にCGの映像を投影」(計画・岩井班)

日刊工業新聞 (2016.1.8) 「擬音語擬態語定量化診断支援システム開発」(計画・坂本班)

〈アウトリーチ活動〉計 38 件

- ・ 多元質感知ニュースレターNo.1, 2016年10月26日発行, 300部
- ・ 質感のつどい第2回公開フォーラム 2016年11月30日千葉大学西千葉キャンパス
- ・ 質感のつどい第1回公開フォーラム 2015年11月25日東京大学生産技術研究所

6. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況（2 ページ以内）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、研究組織間の連携状況について組織図や図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

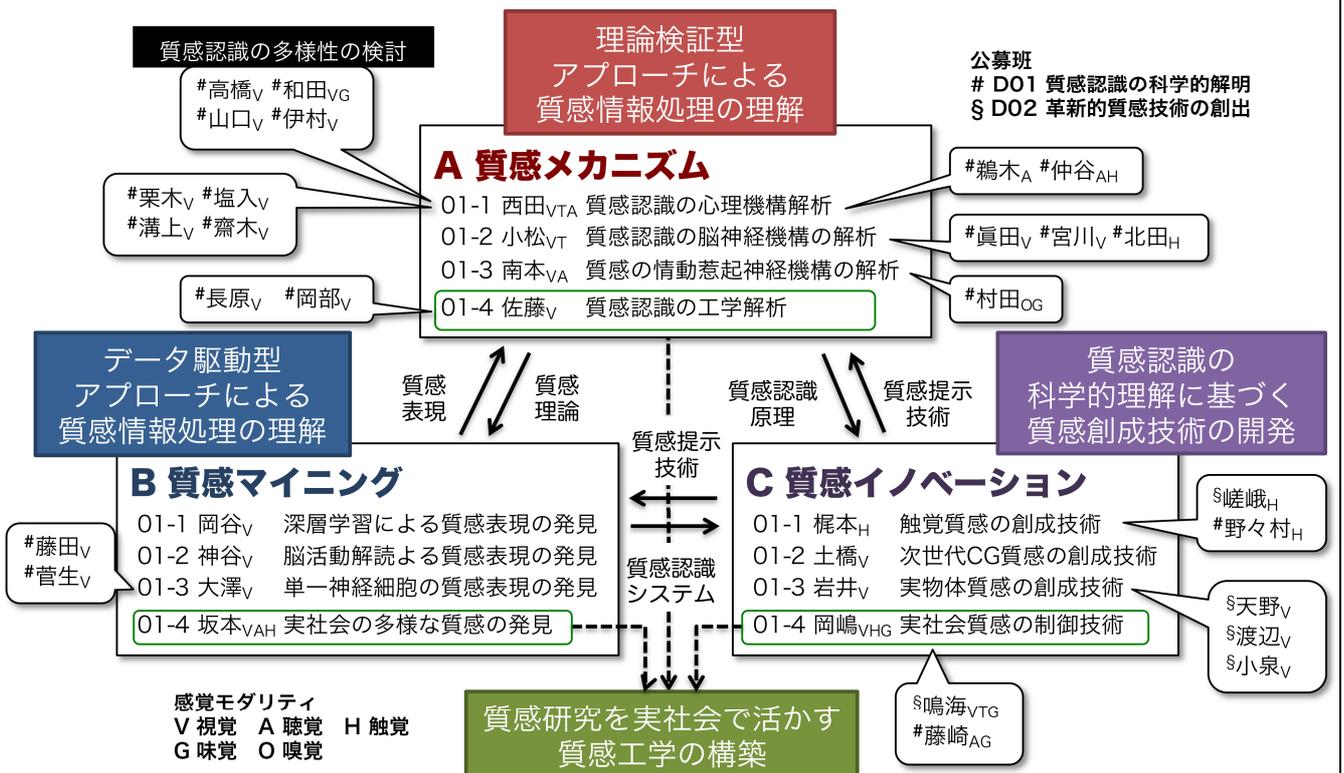


図 1：組織図

図 1 に計画班に第一期公募班を含めた組織図を示す。公募班は最も近いと思われる計画班テーマに紐付けて表示している。審査時の所見に従い、質感認知の多様性を検討する目的で 4 つの公募研究を採択している（図 1 左上）。

図 2（次ページ）に領域内の連携状況を示したマップを示す。連携でコアとなる共有資産や、国際活動支援班で連携を進めた研究者・機関も含めて示す。その内容について、以下に述べる。

共有資産として購入したマルチマテリアルの 3D プリンタは、岩井班分担の日浦が管理し、領域内で利用できる体制を整えた。これまでに、土橋班の依頼による観察方向により見えが変化する薄板状の物体の出力、溝上班の依頼による心理物理実験のテストピースの作成、南本班の依頼によるサルの頭部の 3D モデルの出力などに利用された。土橋班と岩井班の間では、3D プリントした透明層を用いて非平面投影面にくまなく映像を投影する研究のディスカッションが進んでいる。

領域内連携のもう一つのコアとなる共有資産がデータベース（質感素材 DB、質感標準課題 DB）である。前者は坂本班、後者は西田班、土橋班が中心となって構築した。神谷班で視覚刺激として用いて脳活動データを計測して質感画像-fMRI のデータベースに発展させることや、高橋班、伊村班、山口班が質感認知の文化間比較や乳幼児やチンパンジーの実験に利用することが計画されている。また、質感素材 DB の基礎になった素材やオノマトペに関する坂本班の研究成果を活用して、岡谷班、西田班、北田班、野々村班との共同研究が行われている。そのほか領域内の刺激の共有としては、小松班の素材刺激や岡嶋班・和田班が作成した野菜鮮度変化画像を使って、鈴木（西田班分担）が臨床実験を、伊村班がチンパンジーの実験を行っている。

そのほか工学班から神経科学班への技術支援としては、小松班が岩井班の技術支援を得てプロジェ

クションマッピングを使ったサル用の質感刺激提示装置を実現した。菅生班はサルに提示する顔画像の質感を操作するために柳井（西田班分担）のスタイル変換や国際活動支援で協力関係にある Bala 教授（Cornell 大）の画像変換アルゴリズムを利用している。岡嶋班は、岩井班・天野班のプロジェクトマッピング技術や土橋班のコンピュータグラフィックスの技術を食べ物物の質感操作に活用する準備を進めている。

触覚に関しては、梶本班が中心となって触覚関連班の間の領域連携を進め、嵯峨班・北田班・西田班の装置開発のサポートも行った。聴覚に関しては、古川（西田班分担）が中心的役割を果たして、坂本班・鶴木班・仲谷班と共同で研究を進めている。

乳児の視覚発達研究を得意とする山口班は、本吉（小松班分担）と乳児の光沢知覚の恒常性の成立前の過程を明らかにした（Current Biology, 2015）のに続いて、藤崎班と多感覚の質感認識に関わる脳活動の NIRS 研究を行っている。

直接の共同研究という形にはなっていないが、領域内の情報交換によりさまざまなシナジー効果が生まれている。たとえば、西田班は、岩井班・天野班との議論を通じて静止物体が動いて見えるプロジェクトマッピングを開発・改良し、さらにこの技術を立体視に適用する過程で、大澤班が解明した立体視の生理メカニズムも参考にして、眼鏡無しでボケを生じないステレオ提示方法を考案した（SIGGRAPH2017 の Technical paper に採択）。また、西田班は、多くの色が含まれる乾燥表面の画像に対して色の彩度を上げ輝度ヒストグラムの歪度を上げると表面が濡れているように見えることを心理物理学的に示し（Journal of Vision, 2017）、佐藤班は Drexel 大 Nishino と共同でこの現象の物理過程が表面内のパーティクルの多重散乱でモデリングできることを示した（CVPR2017 の口頭発表に採択）。

さらに、領域内の議論で神経科学者の深層学習に関する興味が急速に高まり、当初計画にはなかったが、深層学習と神経情報処理の関係をより深く追求する研究が、小松班・大澤班などでも進められるようになった。

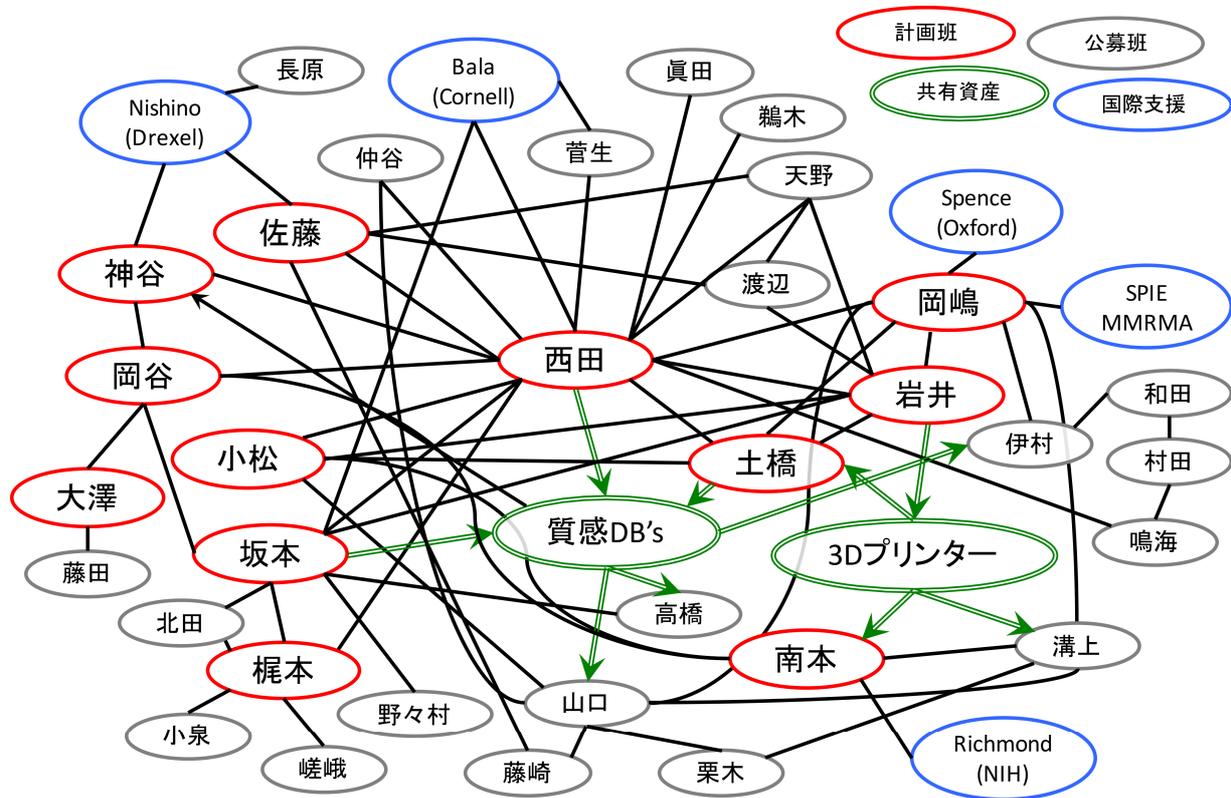


図 2 領域内の連携マップ

7. 若手研究者の育成に係る取組状況（1 ページ以内）

領域内の若手研究者の育成に係る取組状況について記述してください。

本領域には、連携研究員や研究協力員という形で、積極的に若い人を領域に取り込む努力をした。その結果、科研費雇用のポスドク 12 名を含み 40 歳未満の研究員が 95 名（193 名中）参加している（平成 28 年度実績）。彼らは、班会議やセミナーを通して、日頃参加している学会では聞けない分野の最先端の研究に接することができる。今後の質感研究を支え、または新しい分野を開拓していく彼らにとって、これは有意義な機会であるのは間違いない。

班会議の口頭発表は、通常班代表や分担者が担当するが、若手研究者にとっては領域メンバに自らの存在を売り込む良い機会である。そこで、第 3 回の班会議では研究代表者以外の若手研究者が登壇する深層学習のスペシャルセッションを企画した。

若手研究者の自律的な組織として若手の会を起ち上げ、領域内の異分野の若手研究者同士のネットワーク構築を促進するとともに、意見交換会や勉強会等を通して分野横断的な融合研究を若手研究者自らが立案する環境を整備している。さらに同会主催で、世界的に活躍している若手研究者の講演会を実施するなどして国際的なつながりを強め、次世代のグローバルな質感コミュニティをリードする若手研究者を領域内から生み出せるような取り組みを開始している。

国際支援班では H29 年度に博士学生を海外の共同研究期間に数ヶ月滞在させる計画が 2 件進んでいる。

領域外に質感研究コミュニティを作るための集まりである「質感のつどい」では、次世代の質感研究を担う若手を多数実行委員に迎え、運営の多くを任せている。将来のプロジェクト運営の予行演習ともなってもらいたいと思っている。

8. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）（1 ページ以内）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について総括班研究課題の活動状況と併せて記述してください。

H27 年度、H28 年度の総括班予算の使用状況を述べる。

【物品費】

H27 年度にマルチマテリアル 3D プリンタ（Stratasys Objet 260 Connex 3、本体価格 2800 万円）、および材料となる紫外線硬化樹脂（296 万円）を購入し、広島市立大学に納入した。H28 年度は紫外線硬化樹脂を追加購入（106 万円）、年間保守費（322 万円）をあわせて、これまでに 3524 万円を支出している。各班からの要請に応じてプリントする体制を整えた。プリントに時間がかかるため、フル稼働に近い状況にある。

H28 年度に画像データベース作成を目的とした標準光源装置（X-rite Spectralight）を購入した。また、日本画特有の質感を解明するために天然岩絵の具セットを購入し、佐藤班と坂本班で分析を進めている。

【旅費】

神経科学会の質感関連シンポジウムを企画し、J. McDermott（MIT）を招聘した。また、脳と心のメカニズム第 17 回冬のワークショップの主催団体の一つとして、S. Bensmaia（Chicago U）、D. Yamins（Stanford U）を特別講演者として招聘した。彼らは別のセミナーも開催し、その模様は班員にインターネットを通じて中継した。そのほか、班会議へのアドバイザー・学術調査官の旅費を支出した。

【人件費】

事務局の事務アシスタント費用を支出した。

【その他】

3 回の班会議の会場費として 350 万円支出した。

2 回の質感のつどいの会場費として 50 万円支出した。

領域ホームページの作成、およびサーバー運営に 100 万円支出した。

領域内のインターネット会議のために GoToMeeting を契約した。

9. 総括班評価者による評価（2ページ以内）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

江島義道（京都大学名誉教授・元京都工芸繊維大学学長）

本領域は、下記の研究目標を掲げ、2010-2016年における新学術領域研究「質感情報学」の成果（工学・心理学・脳神経科学者からなる質感研究コミュニティ体制の構築、視覚を中心とした質感研究の国際的先導体制の整備）を基盤として研究展開している。

- ① 多様で複雑な質感の認識原理の解明
- ② 深層学習による質感認識の理解の深化
- ③ 質感データベースの構築
- ④ 革新的質感技術の創出

このため、心理学分野、神経科学分野及び工学分野の3分野の研究者が互いに連携しながら研究を推進している。

心理学分野では、視覚、聴覚、触覚、味覚を対象として、質感認識のメカニズムの解明のための研究を行うとともに、研究をさらに高めるための体制を整備した。

平成28年度までに達成されている主な成果は以下の項目に関するものである。

- 1) 透明液体知覚、物体表面の濡れ知覚、極細構造知覚などの視覚質感に関与する物理特性の解析
- 2) 視覚質感の標準観測者データベースの構築
- 3) 手の動きからの触感覚でデコーディング
- 4) 環境音のデータベース構築
- 5) 音による材質判断に与える環境音の影響解析
- 6) 材質判断に与える温度感覚の影響の解析
- 7) 振動周波数と部位の異なる振動情報の触覚統合過程の解析
- 8) 質感の国際的異文化比較
- 9) 感性的質感に与える食習慣の影響の解析
- 10) 神経変性性認知症患者の質感認知機能の解析
- 11) 視覚質感記憶過程の分析
- 12) 質感認知発達過程の分析

これらの成果は、上記研究目標に掲げられた①と③に対応するもので、研究状況は順調に推移していると言える。

領域全体の進展に関しては、心理学分野、神経科学分野及び工学分野の3分野の研究者が、それぞれが掲げた目標を着実に達成している。また、「共有資産としての3Dプリンターの利用環境整備と活用」、「質感素材DB及び質感標準課題DBの構築」、「ディープラーニングの成果を実用的な質感技術に展開するための体制整備」及び「研究者の連携マップの作成」を進めて3分野の連携を活性化するとともに、新たな研究展開を図るための環境を整えた。領域全体としての研究状況は、順調に推移していると言える。

横矢直和（奈良先端科学技術大学院大学・学長）

本領域は、2010～2014年に実施された新学術領域研究「質感脳情報学」の成果をもとに新展開を図る後継プロジェクトであり、全体として、質感研究コミュニティの拡大・活性化に貢献していると判断する。

本領域の現在までの研究成果に関しては、評価者の専門に近いコンピュータビジョン、コンピュータグラフィクス、バーチャルリアリティ等を中心としたメディア工学分野の研究項目においては質の高い成果が創出されている。これまでに、トップジャーナル（IEEE Trans.、ACM Trans. など）や最難関国際会議

(CVPR、ECCV、ACM SIGGRAPHなど)での発表が多数あり、我が国における質感研究の国際的なビジビリティ向上にも貢献している。

領域内での共有資産(3Dプリンタ、質感DB(質感素材DB、質感標準課題DB))を介した連携が効果的に機能しており、班内での共同研究が開始されていることから、後期には論文発表等の形での具体的な成果が期待できる。質感DBは現在、領域内で公開されているが、今後は、領域外への一般公開とそこからのフィードバックによる改良・拡張が望まれる。その際には、質感画像DB OpenSurfaces等との国際連携が重要と思われる。これによって質感研究コミュニティのさらなる拡大が期待できよう。

若手研究者の育成に関して、若手の会を立ち上げ、若手研究者が自主的・自立的に分野横断的研究を立案する環境を整備するなど、様々な取組が行われていることは評価できる。本領域終了時点までに、具体的な研究業績に加えて、アカデミアでのポスト昇格、ポスドク・研究協力者の常勤ポスト獲得を成果指標として、若手研究者育成へのさらなる注力を期待したい。

国際活動支援班を置いて研究コミュニティの国際展開を図っていることは評価できる。若手研究者の個人レベルでの国際展開を本領域の国際ネットワークを利用して支援できるのではないかとと思われる。例えば、若手教員の長期在外研究や学生の留学がある。その場合、経費に関しては、新学術領域研究の予算のみに頼るのではなく、JSPSの頭脳循環プロジェクト(教員)やJASSO(学生)も検討する必要があるだろう。

河野憲二(京都大学名誉教授)

「多元質感知」領域では、知覚心理学、神経科学、情報科学、映像工学など様々なアプローチを組み合わせた研究が試みられており、そのシナジー効果による研究の発展が期待されている。神経科学を主軸とした研究での主だった成果を見てみると、すでに幾つかの優れた成果が上がってきている。「小松グループ」は、神経細胞の活動による質感情報の表現のあり方と、その質感知覚と関係性に注目して研究を進めているが、サル下側頭皮質の光沢選択性ニューロンの記録部位を電気刺激することで、光沢の知覚が変化することを示した研究成果は、当該部位のニューロン活動が質感の知覚形成に直接的な因果関係を持つことを示したもので、質感の神経機構を知る上で重要な発見である。また、サルのfMRIの実験により、物体の質感を形成する2つの大きな要素である視覚と触覚の情報が、経験を経て下側頭皮質後部領域に統合されることを明らかにした研究は、触覚と視覚という異なるモダリティの感覚を経験が結びつけることを脳の活動として示したという点で、異分野の研究を包括し、そのシナジー効果を求めるこの領域の方向性がポジティブに示された優れた成果である。「南本グループ」が開発した、人工受容体(DREADD)を導入し、化学遺伝学的手法を用いることで神経細胞の活動を一過性に抑制させることを可能とした技術は、脳の局所の活動を一過性に变化させ、その機能を調べる手法として、今後、質感研究のみならず、他の神経科学研究にも受け入れられ、その進歩に大いに貢献すると考えられる。視覚情報処理を特定の仮説やモデルにとらわれず、データ駆動型アプローチを用いることで理解することを試みている「大澤グループ」の研究は、極めて斬新な試みであり、今後、質感情報処理の神経機構の理解に寄与するところが大きいと考えられる。昨年度から採択された公募研究では、計画研究を補うような様々なテーマが選ばれており、質感研究にふさわしい多角的な視点が加わっている。これらのテーマの中からも、班会議を通じての知覚心理学、情報科学、映像工学など異分野からの示唆を受けての新たな研究の展開が見られ、さらには共同研究に発展するグループも現れており、今後の研究の発展が大いに期待できる。

10. 今後の研究領域の推進方策（2ページ以内）

今後どのように領域研究を推進していく予定であるか、研究領域の推進方策について記述してください。また、領域研究を推進する上での問題点がある場合は、その問題点と今後の対応策についても記述してください。また、目標達成に向け、不足していると考えているスキルを有する研究者の公募研究での重点的な補充や国内外の研究者との連携による組織の強化についても記述してください。

今後も異分野間の連携を高め、人間の質感認識メカニズムの科学的理解と革新的質感技術の創出を目指す。

【機械による質感認識と人間による質感認識の融合】工学的に質感認識を実現するにあたり、A項目がとる理論検証型アプローチでは、物理現象の分析を出発点とする。一様な可視光照明におけるRGB画像を入力とするのではなく、マルチスペクトル照明やプロジェクタ照明を利用した新たなコンピュータビジョンを開拓してきた。今後もこの方向で世界の最先端を狙う。このような機械の眼は、人間の制約を超えており、そのまま人間の質感認識のモデルにはならないが、計算論的には参考になる。また、表面反射成分と表面下散乱成分の分離、非蛍光と蛍光成分の分離ができる技法が開発できたので、これらの成分を画像上で独立に変化させることにより、いままでに無かった実験刺激の操作が可能となった。これを心理実験に利用する。B項目がとるデータ駆動型アプローチ（機械学習）では、質感認識の出発点は人間の知覚である。刺激（たとえば画像）と人間の知覚（材質カテゴリー）の関係を学習し、人間の情報処理を模倣する装置を構築する。近年の深層学習の進歩は目覚ましく、適切な質および量のデータが揃えば、人間と近い精度で質感を認識する装置の実現はそれほど難しくない。さらに、深層学習で獲得された認識ネットワークの構造は、人間の感覚系のよいモデルとなることが示唆されている。本領域では、今後も、多様な質感をより高い精度で認識可能なシステムを研究していく。と同時に、人間の認識を模倣できるネットワークが、理論的に（物理光学的に）妥当な計算をしているのか、また、脳の計算とどれほど一致するのかを検討するために、質感学習ネットワークを分析する。理論的側面に関しては、CGで物理パラメータを変化させたり、実際の物体の画像を物理解析的に分解・操作したりして生成した刺激入力に対してネットワークの振る舞いを検討する。また、生体情報処理との関係に関しては、情景の言語記述が人間と同じようにできるか検討したり、脳活動デコーディングの結果と比較したり、人間と同様の心理物理実験を行ったり、電気生理実験をシミュレートしたりして、生体の質感情報処理と、どこが同じでどこが異なっているかを評価する。これまでの予備的な検討から質感学習ネットワークの限界が示唆されている。しかし、それが学習の限界なのか、限定された学習データからくる制約なのかは容易に判断できない。そのため、質感認識ネットワークの質感学習ネットワークを、機能や内部表現について生体情報処理と一致するようにチューニングする方法を模索する。これが成功すれば、本当に人間のように質感を認識する装置を作ることが可能となり、深層学習の理論的な理解、生体質感情報処理の解明にもつながる。

【質感データベース】第一弾が完成した質感素材DBおよび質感標準課題DBに関しては、領域内の利用を促進する。機械学習、乳児を使った心理実験、アフリカなどでのフィールドワーク、脳機能障害患者の臨床研究、チンパンジーを使った動物実験などで利用することや、健常者の脳活動をfMRIで測定する。質感標準課題DBでは言語教示を必要としない仲間はずれタスク（odddity task）を基本としているので、そのまま様々な場面で利用できる。第二期の公募ではテスト群の範囲を広げるような提案を期待する。また、DBの改善・拡張も重要な課題である。質感標準課題DBは、利用者からのフィードバックをもとに、さらに何が必要かを見定めていく。質感素材DBは、これまでに収集した実素材と質感画像群を対象とし、表面形状・熱伝導率・硬度・水分量などの物理量、心理物理実験で抽出された知覚特性データ、言語による主観評価データ、観察者プロフィールを特

徴とするものに充実し、領域内で活用していく。また、機械学習への利用においてはデータの量がポイントになってくるので、国際活動支援班の枠組みを使ってCornell大が作る大規模な質感画像データベースであるOpenSurfaces と質感素材DBを接続することでDBの充実を図る。

【質感認識神経回路の同定】 質感認知の基本的な特性である素材識別および光沢の知覚にかかわる情報の脳内表現や情報処理を明らかにするとともに、嗜好や嫌悪といった質感認知の感性・情動的側面や質感認識の多感覚側面について研究を発展させる。具体的には、光沢について、下側頭皮質で見いだされている光沢選択性ニューロンの活動が光沢知覚と因果関係を持つかどうかを検証する。また質感刺激と脳活動とヒトの行動の関係を調べるために、様々な表面の物理特性の知覚、材質認知、および情動的価値に対する行動的な判断の時間的ダイナミクスを解析する。質感知覚の多感覚的側面については、ヒトを対象としたfMRIを用いて馴染みがない人工的な素材刺激の視触覚経験後の脳活動の変化を調べるとともに、素材画像刺激と音刺激の組み合わせによる脳活動を調べる。質感誘発情動の神経機構については、強い情動反応を惹起する視覚・聴覚刺激に対するサル的情動性反応を再現性よく捉える評価系を確立するとともに、fMRIやECoG法による脳活動計測を進める。脳活動を指標として、様々な質感刺激を情動価によりカテゴリ化するなど、脳神経活動を用いた情動価情報のデコーディングを試みる。最終的に、これらの脳活動-情動連関がOFCなど情動・価値判断に重要な領域の神経活動をDREADDにより操作することで、どのような影響が生じるかを特定することで、感性的質感認知における情動・感性系の神経回路とその仕組みを明らかにする。質感脳内表現のデコーディングに関しては、質感に関連する単語やフレーズでタグ付けられた大規模自然画像データから、質感概念に関連する画像・言語特徴を抽出し、データベース中の一部の画像を見た時の脳活動パターンをfMRIで計測し、脳活動パターンから当該画像の質感関連特徴量を予測するデコーディング解析を行い、実際に脳がその特徴に関する情報を持っているかを定量化する。さらに、脳活動パターンを利用して深層ニューラルネットワークを再構築し、質感特徴量を効率的に表現する方法を開発する。さらに、サルのV1, V2, V4, MTから共通の刺激(ダイナミックランダムガボール刺激やダイナミックランダムドット刺激)を使った神経活動の測定ができる体制が整ったので、それらの領域の高次の受容野構造をマッピングして、深層学習で形成される質感の脳内表現との比較を試みる。

【革新的質感技術の開発】 プロジェクションマッピングや液晶ディスプレイを使った照明制御によって3Dプリンタの出力を含む実物体のアピランスの操作技術をカラーコンテンツとして発展させる。物理的な光線場の再現、高速プロジェクション、高速トラッキングといった技術に関しては世界最先端を目指す。新しいステレオ提示方法の開発のように、人間の質感知覚特性を利用して、物理的な限界を超える試みを続ける。CGに関しては、これまでに行ってきた複雑構造を持つ物体の質感表現の研究を継続しつつ、質感の解析と編集の研究へと発展させ、CGを使った融合研究を積極的に推進する。触覚に関しては、テクスチャ面やタッチパネルを触ったときの皮膚変位計測を行い、質感との関係を明らかにすることで触覚の構成要素を明らかにし、触覚呈示装置を改良して提示可能な触覚の領域を着実に広げていく。

【質感工学への体系化】 計画研究および公募研究における、それぞれの班の研究の成果を取りまとめて「質感レシピ集」を作成し、質感の計測・分析・制御・管理を一貫して工学的に行えるようにする枠組み作りを試みる。領域外から質感の計測・分析・制御・管理に関するニーズも取りまとめて、レシピ集に反映させるとともに、領域研究の産学連携を推進させる。